O. BÂRSAN D. ANASTASIU I. GEORGESCU

Conducere științifică și cercetare operațională în construcții

Scanned with OKEN Scanner

Ing. O. BÂRSAN * ing. D. ANASTASIU * ing. I. GEORGESCU

Conducere ştiinţifică şi cercetare operaţională în construcţii

EDITURA TEHNICĂ
BUCUREŞTI — 1968

Scanned with OKEN Scanner

4. Aspectele generale ale problemelor de cercetare operațională 69
5. Principalele teorii și tehnici folosite în cercetarea operațională 67
6. Instrumentele cercetării operaționale 68

Partea a doua

Probleme de ordonanțare

V. *Aspectul general al unei probleme de ordonanțare* 73

VI. *Elementele proiectului și elementele grafului* 83

1. Activitatea 83
2. Gradul de amănunțime 84
3. „Relații între activități" 84
4. Condiționări 85
5. Graful 86
6. Numerotarea nodurilor 89
7. Evenimente 89
8. Reprezentarea evenimentelor în graf 91
9. Noduri inițiale, noduri finale 91
10. Noduri funcționale 94
11. Suprapunerea activităților 100
12. Generații în graf 102

VII. *Elaborarea grafului* 106

1. Fixarea scopului și a gradului de amănunțime. Criteriul responsabilităților 106
2. Zonarea, sectorizarea și întocmirea listei de activități 103
3. Elaborarea grafului primar 111
4. Elaborarea unui graf de gradul III 119
5. Elaborarea unui graf de gradul II. Bloc de locuințe cu patru etaje 124
6. Elaborarea unui graf de gradul I pentru o investiție 133

VIII. *Calculul elementar al programului* 136

1. Durata activității 137
2. „Relația durată-cost" 138
3. „Rezervele de timp" 142
4. Unitatea de măsură a timpului 144
5. Termene 144
6. Atașarea duratelor la elementele grafului 148
7. Efectuarea calculelor 153

IX. *Îmbunătățirea programului în funcție de durată și cost* 165

1. Scurtarea duratei totale fără modificarea duratelor activităților 165
2. Scurtarea duratei totale cu modificarea duratelor activităților 171

X. *Programe cu durate și evenimente aleatorii sau incerte* 176

1. Durate aleatorii și incerte 176
2. Evenimente aleatorii 178

Scanned with OKEN Scanner

XI. *Ordonanțarea resurselor* 179

1. Punerea problemei 179
2. Noțiuni și terminologie 180
3. Problema optimizării programului 182
4. Metode de optimizare 183

XII. *Aspectele aplicării în practică a metodelor moderne de ordonanțare* 186

1. Folosirea calculatoarelor electronice 186
2. Controlul îndeplinirii programelor 193
3. Coordonarea execuției 194
4. Acțiunea de introducere în practică 196
5. Avantajele metodei drumului critic 197

Partea a treia

Alte probleme ale cercetării operaționale

XIII. *Generalități* 201

XIV. *Probleme de programare liniară în organizarea științifică a producției* 203

1. Programarea producției pe sortimente 203
2. Programare liniară 205
3. Exemple de probleme care conduc la programe liniare 216

XV. *Probleme de repartiție* 222

1. Modelul matematic al problemelor de repartiție 222
2. Calculul programului de repartizări 223
3. Stabilirea planului de transporturi a materialelor de masă 225

XVI. *Probleme de așteptare* 233

1. Modelul matematic al fenomenelor de așteptare 233
2. Conținutul problemelor de așteptare 248

XVII. *Probleme de stocuri* 252

1. Considerații elementare 253
2. Funcțiunile stocurilor 254
3. Costurile în gestiunea stocurilor 254
4. Previziuni asupra necesarului de materiale 256
5. Metode de reaprovizionare 262
6. Dimensionarea stocurilor 265
7. Dimensionarea stocurilor de ciment pentru o întreprindere de construcții 270

XVIII. *Probleme de uzură, întreținere și înlocuire a utilajelor* 271

1. Viața utilajelor 271
2. Modele deterministe 274
3. Modele de calcul probabiliste 277

Scanned with OKEN Scanner

XIX. *Probleme de decizie* 283
1. Informaţie şi decizie 283
2. Ipoteze aleatoare 287
3. Noţiuni de teoria jocurilor 287

Partea a patra

Automate folosite în conducerea ştiinţifică

XX. *Dispozitive moderne de prelucrare a datelor* 293
1. Structura unui sistem de prelucrare a datelor 293
2. Suporturi ale informaţiilor 294
3. Transmiterea informaţiilor la centrul de prelucrare a datelor 299
4. Prelucrarea automată a datelor. Calculatoarele electronice 301

XXI. *Telegestiunea* 317
1. Metode de telegestiune 317
2. Componenţii unui sistem de telegestiune 319
3. Telegestiunea instantanee 321
4. Telegestiunea de grup 322

XXII. *Noţiuni de programare a calculatoarelor* 324
1. Programe exprimate în codul calculatorului 324
2. Tipuri de instrucţiuni 327
3. Programe în cod calculator 330
4. Programe exprimate în limbaje algoritmice de programare automată . . . 333
Bibliografie 335

Scanned with OKEN Scanner

INTRODUCERE

Activitatea de a construi este una din cele mai vechi preocupări ale omenirii. Timp de mii de ani, pînă spre mijlocul secolului al XIX-lea, conceperea construcţiilor avea la bază intuiţia, empirismul, tradiţia; meseria de constructor era o artă, care se învăţa prin ucenicie.

În întreagă această perioadă progresul a fost lent şi bazat pe descoperiri sau invenţii întîmplătoare.

Este suficient să ne amintim că principalele materiale de construcţie de la începutul secolului al XIX-lea erau aceleaşi cu cele folosite de romani: lemnul, piatra, cărămida, mortarul. „Metodele" empirice de dimensionare a elementelor de construcţie făceau ca acestea să fie de multe ori fie supradimensionate şi costisitoare, fie lipsite de siguranţă; numai cu totul întîmplător se realizau dimensiuni raţionale.

Revoluţia industrială din secolul al XIX-lea a provocat o necesitate crescută de construcţii: hale de producţie, căi de comunicaţie, poduri, baraje, porturi, oraşe.

Pentru a se putea realiza volume atît de importante de construcţii, a apărut necesitatea de folosire mai raţională a materialului.

Pe de altă parte, industria a început să pună la dispoziţia constructorului, în cantităţi din ce în ce mai importante, două materiale avantajoase nefolosite pînă atunci: oţelul şi cimentul portland. Cunoştinţele tradiţionale asupra acestor materiale erau cu totul insuficiente pentru a permite folosirea lor în deplină siguranţă. Or, dat fiind costul ridicat al noilor construcţii de mare anvergură şi pericolul pe care îl prezentau pentru mari colectivităţi de oameni în caz de distrugere, problema siguranţei începea să capete o mare importanţă. De altfel, probleme cu totul noi puneau şi caracteristicile cerute noilor construcţii: deschideri, înălţimi şi sarcini mari, solicitări dinamice, medii nocive etc.

Limitarea la cunoştinţele şi procedeele „tradiţionale", empirice şi izvorîte numai din rutină, necunoaşterea profundă a proprietăţilor materialelor şi fenomenelor, începeau să constituie o frînă în calea dezvoltării construcţiilor în conformitate cu cerinţele societăţii.

Aşa a apărut necesitatea cercetării ştiinţifice sistematice a *fenomenelor naturale* din construcţii al cărei scop este cunoaşterea şi folosirea cît mai completă a caracteristicilor mecanice şi fizice ale materialelor, în scopul asigurării

Scanned with OKEN Scanner

economicității, siguranței și durabilității construcțiilor. „Arta de a construi" încetează de a mai fi o artă, ea devine o știință, o tehnică, care nu se mai deprinde prin ucenicie ci se învață în școli.

Rezultatele acestor cercetări sistematice sînt bine cunoscute astăzi. Ele au condus în primul rînd la dezvoltarea mecanicii construcțiilor care a permis determinarea dimensiunilor construcțiilor *prin calcul*. Faptul că în mai puțin de 100 de ani, betonul armat a putut să evolueze de la ghivecele de flori și tuburile lui Monnier, la pînzele subțiri de mare deschidere și de inegalabilă suplețe, constituie o performanță a gîndirii științifice în general, și a calculului matematic în special.

Pe de altă parte, cerințele în continuă creștere ale societății au făcut ca în prezent producția de construcții, ca de altfel producția în toate ramurile economiei, să atingă o complexitate foarte mare și un ritm deosebit de rapid.

Complexitatea producției, rezultat direct al diversificării tipurilor de construcții și instalații, al apariției numeroaselor tehnici speciale, utilaje și materiale noi, al specializării întreprinderilor și salariaților lor, tinde să devină astăzi o frînă în calea dezvoltării în continuare a producției. În numeroase cazuri se constată că procedeele tehnice moderne riscă să nu poată fi folosite cu eficacitate, ca urmare a dificultăților de natură organizatorică.

Iată dece, începînd încă din deceniul al patrulea al secolului nostru, dar în special în ultimii 20 de ani, numeroși oameni de știință și-au îndreptat eforturile nu numai spre cercetarea fenomenelor naturale ci și spre cercetarea *acțiunilor omenești*, a operațiilor sau, folosind un termen mai general, asupra *fenomenelor organizatorice*. Ca urmare, au apărut o serie de discipline științifice noi, purtînd diferite denumiri ca: știința conducerii (*management science, gestion scientifique*), cercetarea operațională, cibernetica economică, psihosociologia organizării etc. care analizează fenomenele organizatorice sub diferite unghiuri și care ar putea fi cuprinse sub denumirea generală „științele organizării și conducerii". Dat fiind faptul că toate aceste discipline sînt astăzi în plină dezvoltare și cristalizare, clasificarea și sistematizarea lor nu este încă pusă la punct pe plan mondial.

Ca urmare, în prezent, „arta de a conduce" încetează de a mai fi cu adevărat o artă, ea devine o știință a cărei asimilare nu mai trebuie făcută numai prin ucenicie sau practică îndelungată, ci *se învață*.

1. METODA ȘTIINȚIFICĂ

Analizînd felul în care știința a pătruns în domeniul dimensionării construcțiilor, se constată patru elemente esențiale ale metodei științifice:

— modelul;
— măsura;
— observația și experimentul;
— raționamentul și calculul matematic riguros.

Pentru exemplificare se va analiza în continuare felul în care se studiază o grindă simplu rezemată.

Scanned with OKEN Scanner

În scopul stabilirii unor relații matematice generale a fost necesar să se creeze binecunoscutul *model* al grinzii simplu rezemate (fig. 1).

Modelul este un mijloc simplu de a studia un sistem sau un fenomen, luînd în considerare numai un mic număr de proprietăți *esențiale* ale sistemului sau fenomenului respectiv, simplificînd sau neglijînd alte proprietăți.

Astfel, modelul grinzii simplu rezemate se bazează, după cum se știe, pe anumite ipoteze, și anume: reazemele sînt punctuale și nu preiau momente; încărcările concentrate acționează punctual iar cele distribuite respectă anumite relații matematice simple; deformațiile nu modifică acțiunea încărcărilor; secțiunile plane rămîn plane și după deformare etc.

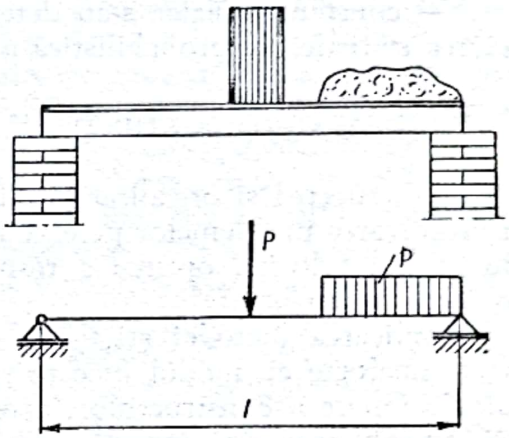


Fig. 1

Se știe că nu toate aceste ipoteze corespund exact realității, dar aproximația este acceptabilă în cazurile curente.

Pe acest model s-au efectuat raționamente și calcule matematice în urma cărora s-au stabilit cunoscutele reguli pentru determinarea solicitărilor (momente încovoietoare și forțe tăietoare), reguli care în limbaj matematic se numesc *algoritmi* și care sînt aplicabile oricărei grinzi indiferent de deschidere, material, forma secțiunii etc.

Pentru dimensionarea secțiunilor supuse la încovoiere, pe baza ipotezelor menționate, a fost stabilită relația:

$$W = \frac{M}{\sigma_a}.$$

Referitor la această relație și la altele asemănătoare, este de reținut simplitatea finală a expresiei la care se ajunge după raționamente matematice relativ complicate.

De asemenea, trebuie remarcat un alt fapt, de altfel des întîlnit: elaborarea acestei relații a făcut necesară definirea unei noțiuni noi: *modulul de rezistență* W. Relația nu ar avea sens dacă cele trei mărimi pe care le conține nu ar fi măsurabile. Fiecare din aceste mărimi își are unitatea de măsură și modul de măsurare sau de determinare prin calcul bine precizate.

În sfîrșit, fără a mai aminti de observațiile și experimentele care au inspirat însăși elaborarea modelului și de cele care au confirmat justețea rezultatelor, trebuie remarcat că, chiar una din mărimile care intervin în relația dată este prin excelență experimentală: rezistența materialului. Mai mult decît atît, rezistența unui material nu constituie o valoare absolută, rezultat al unui experiment unic oarecare; determinarea ei presupune efectuarea unui mare număr de încercări. Prin însăși luarea în considerație a unui mare număr de valori în vederea determinării rezistenței de calcul, valoarea rezultată are un caracter statistic—probabilistic.

Este de reținut deci că, în general, pentru rezolvarea științifică a unei probleme de dimensionare:

— s-a creat un model;

Scanned with OKEN Scanner

— s-au determinat relații matematice, pe baza unor raționamente și calcule riguroase;

— s-au definit unități de măsură și s-au imaginat metode pentru măsurarea diferitelor mărimi care interveneau în calcul;

— s-au efectuat experimente și observații pentru verificarea rezultatelor teoretice;

— constantele fizice s-au determinat prin încercări repetate și prin prelucrarea statistică — probabilistică a rezultatelor.

2. METODA ȘTIINȚIFICĂ ÎN CONDUCERE ȘI ORGANIZARE

Conducerea și organizarea științifică constituie aplicarea metodei științifice în rezolvarea problemelor pe care le ridică conducerea organizațiilor productive, în scopul folosirii optime a resurselor disponibile în vederea atingerii unui obiectiv propus.

Aplicarea metodei științifice în rezolvarea acestor probleme, prezintă o mare analogie cu modul în care se abordează în mod științific problemele de dimensionare a construcțiilor, care au fost analizate foarte sumar mai înainte. Și în problemele de conducere și organizare se introduc și se folosesc:

— modelul;

— măsura;

— observația și experimentul;

— definirea exactă a noțiunilor, analizarea și sistematizarea rezultatelor observațiilor, raționamentul riguros și tratarea matematică în vederea stabilirii unor relații cantitative între mărimi.

Cititorul neavizat poate privi cu nedumerire și neîncredere acest mod de a aborda problemele. O întreprindere este infinit mai complexă decît o grindă sau un cadru. Întreprinderea este formată în ultimă instanță din oameni, iar funcționarea ei depinde de comportamentul oamenilor. Cum ar putea fi deci reprezentată matematic funcționarea unei întreprinderi? Nu sînt oare astfel de încercări simple speculații matematice?

Nu încape îndoială că întrebări asemănătoare au frămîntat în secolul trecut și mintea primilor constructori cărora li s-a vorbit, poate, de stabilirea prin calcul a secțiunii unei grinzi de lemn, problemă pe care erau obișnuiți să o considere ca pe o chestiune prin excelență de intuiție și empirism, imposibil de prins în cifre.

Fără îndoială, metodele matematice care vor fi folosite în probleme de conducere nu sînt aceleași cu cele aplicate în problemele de dimensionare a construcțiilor. Matematica aplicată a creeat, după cum se va vedea, noțiuni noi (așa cum, în exemplul dat mai înainte, a fost creeată noțiunea de modul de rezistență), adaptate necesității tratării problemelor de organizare.

Intuiția și experiența personală constituie fără îndoială însușiri indispensabile conducătorului modern, dar ele nu pot fi singurele instrumente pentru conducerea unei organizații productive. Într-adevăr, datorită dimensiunilor și complexității crescînde ale acestor organizații, conducătorul de astăzi (începînd de exemplu chiar de la șeful de lot în sus) nu mai are posibilitatea să se

Scanned with OKEN Scanner

informeze permanent şi direct, „cu proprii ochi", asupra mersului producţiei, asupra situaţiei stocurilor, asupra gradului de folosire şi stării tehnice a utilajelor etc. Fiind nevoiţi să recurgem la o informare indirectă, prin rapoarte verbale sau scrise, se pune în primul rînd problema *obiectivităţii informaţiei*, a preciziei ei. Cea mai obiectivă şi precisă modalitate de a reprezenta informaţiile este cea numerică.

O altă problemă pe care o ridică informarea indirectă este asigurarea operativităţii ei. Conducătorul trebuie să primească informaţia în cel mai scurt timp, pentru a lua măsuri eficace. Apare astfel necesitatea studierii amănunţite a întregului sistem de transmitere a informaţiilor în vederea asigurării rapidităţii transmisiei. Aceasta constituie obiectul unei teorii a *circuitelor informaţionale*.

Dar transmiterea către conducător a întregului volum de informaţii culese, în forma lor iniţială, ar răpi conducătorului, într-un mod inutil şi ineficace, un timp preţios. Apare astfel problema *prelucrării* şi *prezentării* informaţiilor, astfel încît, într-un număr minim de date să se cuprindă elementele esenţiale necesare cunoaşterii în ansamblu a situaţiei, dar în acelaşi timp să se poată depista uşor defecţiunile, locul unde s-au produs şi cauzele lor. Această prelucrare trebuie să asigure fidelitatea rezultatelor, prin aplicarea metodelor statistice, şi operativitatea, prin folosirea tehnicii moderne de calcul, în primul rînd a calculatoarelor electronice.

După ce a luat cunoştinţă de situaţia reală, conducătorul trebuie să ia, în general, o hotărîre. Acesta este de altfel principalul său rol. Pentru a lua hotărîrea cea mai bună, conducătorul ar trebui să analizeze pe rînd toate hotărîrile pe care le-ar putea lua, să evalueze urmările fiecăreia şi să o aleagă apoi pe cea optimă, ale cărei efecte corespund cel mai bine obiectivului urmărit. Chiar în situaţiile, rare de altfel, în care numărul de hotărîri posibile nu este infinit, conducătorul nu poate dispune de timpul necesar efectuării unor astfel de raţionamente. Chiar dacă ar face apel la un număr mare de salariaţi care să efectueze această analiză, durata necesară ar rămîne totuşi prohibitivă, dacă ar fi nevoie ca de fiecare dată să se reia toate raţionamentele de la început şi nu s-ar face apel la o serie de rezultate generale ale unor raţionamente riguroase, deja făcute.

Forma optimă a unor astfel de raţionamente generale, valabile în toate problemele de acelaşi tip, este aceea a raţionamentului matematic.

Aplicarea metodelor matematice în problemele de conducere face obiectul cercetării operaţionale. Cercetarea operaţională pune la dispoziţia conducătorului datele necesare pentru alegerea hotărîrii optime.

* * *

Prezenta lucrare este împărţită în patru părţi.

Partea întîi cuprinde o tratare mai amănunţită a celor patru aspecte principale ale conducerii şi organizării ştiinţifice, enunţate în paragraful precedent, şi anume: problema informaţiei, problema circulaţiei informaţiei, în ceea ce va fi definit prin *organismul economic*, problema prelucrării informaţiei şi aspectele generale ale folosirii programării matematice în vederea luării hotărîrilor.

În părţile a doua şi a treia sînt abordate principalele tipuri de probleme în care apare necesitatea luării unor hotărîri şi se dau indicaţii, uneori sumare,

Scanned with OKEN Scanner

asupra metodelor care pot fi folosite. În cadrul acestui ansamblu de probleme s-a dat o extindere deosebită problemelor de planificare în timp (ordonanțare), avînd în vedere, pe de-o parte, importanța lor și pe de altă parte, legătura intimă care există între rezolvarea acestor probleme și procesul tehnologic de construcții. Această strînsă legătură face ca, cel puțin pînă într-un anumit stadiu destul de avansat, aceste probleme să nu poată fi rezolvate fără concursul efectiv al inginerilor și arhitecților care au proiectat investiția, precum și a celor care vor conduce realizarea ei.

Din acest motiv se poate prevedea că, într-un viitor nu prea îndepărtat, tehnica modernă de planificare va face parte dintre cunoștințele fundamentale ale inginerului și arhitectului, pe același plan, de exemplu, cu desenul tehnic. Din acest motiv partea a doua se ocupă numai de problemele planificării în timp și a primit o dezvoltare relativ importantă.

Partea a patra tratează unele aspecte practice generale ale aplicării metodelor științifice în organizarea întreprinderilor de construcții, făcînd o prezentare suficient de detaliată a mijloacelor moderne de calcul.

Afirmația că astăzi organizarea este o specialitate pe care o profesează organizatorul — specialist (analist) este deja depășită. În prezent, organizarea a devenit un ansamblu de specialități și acest ansamblu nu mai poate fi cuprins de un singur om. Organizarea unei întreprinderi se face prin munca colectivă a unor servicii sau instituții specializate, care cuprind ingineri analiști, economiști, matematicieni, ciberneticieni, psihologi, sociologi. Dintre aceștia, unii sînt specializați în probleme de planificare, alții în probleme de stocuri, în probleme de studiu și proiectare a formularelor, în probleme de condificare etc.

Ceea ce au comun toți acești specialiști este spiritul în care abordează problemele, *spiritul metodei științifice*, și *limbajul comun* care le permite să colaboreze.

În acest context, lucrarea de față nu poate avea pretenția epuizării problemelor, nici în suprafață, nici în adîncime.

Adresîndu-se în mod special inginerilor și arhitecților în calitatea lor de conducători la diferite niveluri ai proceselor de proiectare și de execuție, autorii și-au propus realizarea unei lucrări care să dea cititorilor o privire de ansamblu asupra problemelor, principiilor și metodelor organizării moderne. Accentul a fost pus în mod special pe semnalarea problemelor care se pot pune specialiștilor din domeniul organizării, pe modul în care pot fi formulate aceste probleme, pe limbajul specific, care să le permită comunicarea mai lesnicioasă cu specialiștii. În ceea ce privește metodele de rezolvare, acestea au fost indicate numai pentru cazuri foarte simple, mai mult în dorința de a sugera cititorului căile generale de rezolvare. Rămîne ca pentru tratarea efectivă a unor probleme reale, cititorul să aprofundeze metodele în lucrările de specialitate indicate în bibliografie sau să se adreseze specialiștilor în probleme de organizare și calcul.

Dorința de a realiza un tur de orizont cît mai complet a făcut în mod inerent ca anumite probleme să fie tratate numai la nivel de generalități. S-au evitat noțiunile și definițiile prea aride sau abstracte, apelîndu-se pe cît posibil la metoda analogiei. Dezvoltările matematice au fost reduse la minimul considerat necesar pentru înțelegerea problemei.

Scanned with OKEN Scanner

PARTEA ÎNTÎI

Noţiunile elementare ale ştiinţei conducerii

Scanned with OKEN Scanner

I

INFORMAȚIA

1. DEFINIȚIE, CLASIFICARE

Prin *informație* se înțelege un sunet, un simbol, o imagine sau un grup de mai multe sunete, simboluri, imagini, sau, în general, un transport de energie, prin intermediul cărora se comunică diverse cunoștințe asupra unor obiecte, evenimente, intenții.

Noțiunea de informație este de o mare generalitate. Astfel constituie informații: documentele scrise, mesajele verbale, directe sau telefonice, desenele, fotografiile, imaginile de televiziune, culoarea semaforului etc. Însăși științele sînt ansambluri de informații asupra naturii, tehnicii, societății.

Necesitatea studierii științifice a problemelor de reprezentare și transmitere a informației a condus la apariția unei științe noi: *teoria informației*. Se menționează că teoria informației are la bază noțiunea de *cantitate de informație*.

În domeniul activității de construcții constituie informații sau ansambluri de informații:

— piesele scrise și desenate ale proiectelor;
— documentele primare contabile;
— planul de producție;
— bilanțul;
— dări de seamă statistice;
— situațiile de plată;
— deciziile și ordinele scrise sau verbale;
— notele telefonice;
— normele și normativele;
— diferitele materiale de documentare tehnică;
— denumirea unei întreprinderi;
— numele și numărul matricol al unui salariat.

Asupra informației se pot efectua următoarele operații:

— culegerea și emiterea informației (de exemplu stabilirea stadiului fizic al execuției unui obiect, emiterea unui ordin, emiterea unui raport de necesitate);
— codificarea și decodificarea;

Scanned with OKEN Scanner

— înregistrarea (scrierea, desenarea etc.);
— multiplicarea;
— transmiterea și recepționarea;
— prelucrarea;
— memorizarea (stocarea, arhivarea).

O primă clasificare a informațiilor este legată de rolul lor în producție:

a) informații apriorice, care preced înfăptuirea diferitelor activități și care pot fi:

— ordine, categorie în care intră diversele hotărîri și decizii, planul, proiectele, normativele, legile, instrucțiunile;

— informații previzionale, cum ar fi: prezumări privind îndeplinirea planului, timpul probabil, aprecieri privind posibilitatea recrutării de forțe de muncă etc.;

b) informații de control sau aposteriorice, care reflectă o anumită stare reală de lucruri și consemnează evenimente deja petrecute; de exemplu, un aviz de expediție, confirmat de primitor, consemnează faptul că o anumită cantitate de produse a fost transferată dintr-o gestiune în alta; un raport de lucru consemnează lucrările efectuate de o anumită echipă într-o anumită perioadă; tot în această categorie se consideră: informațiile asupra stării reale a vremii, confirmarea unei comenzi etc.

După felul în care este înregistrată informația, aceasta poate fi:

a) neînregistrată
— cuvinte și sunete;
— imagini (directe, televizate);

b) înregistrată
— scrisă;
— desenată;
— fotografiată;
— filmată;
— fonoimprimată etc.

Fiecare din aceste categorii de informații prezintă anumite particularități și avantaje care le fac recomandabile pentru aplicații în diferitele domenii ale organizării întreprinderii. Astfel, folosirea televiziunii în procesul de producție (televiziunea industrială) și-a dovedit eficacitatea în numeroase aplicații practice și nu încape îndoială că într-un viitor apropiat va fi introdusă și în construcții (de exemplu pentru a asigura macaragiului vizibilitatea perfectă a operațiilor, pentru supravegherea generală a șantierului etc.).

Fonoînregistrarea constituie de asemenea o metodă modernă de mare eficacitate, aplicabilă pentru înregistrarea economică a dezbaterilor în ședințele de lucru, dictarea rapidă a corespondenței (dictafon), imprimarea instructajelor care trebuie efectuate de mai multe ori.

Filmarea, pe lîngă aplicațiile deosebit de fructuoase în domeniul documentării, instruirii și propagandei tehnice, este folosită pe scară largă în studierea amănunțită a proceselor de muncă, permițînd analizarea mișcărilor și mînui-

Scanned with OKEN Scanner

rilor în vederea raţionalizării şi simplificării lor. Filmarea a devenit în acest fel unul din cele mai eficace mijloace ale organizării ştiinţifice a muncii.

Se va insista însă mai mult asupra formei celei mai răspîndite de înregistrare a informaţiei: *informaţia scrisă.*

2. INFORMAŢIA SCRISĂ

Pentru scrierea informaţiei sînt necesare:

— un ansamblu de simboluri, numit alfabet* ;

— un limbaj care să permită prin combinarea simbolurilor să se obţină cuvinte cu semnificaţia precisă.

— un suport material, care poate fi hîrtia simplă sau formularul.

a. ALFABETUL

Alfabetul este ansamblul de simboluri (caractere) care pot fi folosite pentru înregistrarea unei anumite categorii de informaţii.

Cînd informaţia se scrie manual se pot folosi, evident, orice fel de simboluri, cu condiţia ca ele să aibă o semnificaţie precisă pentru toţi cei care trebuie să interpreteze informaţia. Cu alte cuvinte, se pot folosi: alfabetul latin, grecesc, slavon etc., cifre arabe sau romane, semne matematice, semne de punctuaţie şi orice semn convenţional bine stabilit.

Cînd informaţia se dactilografiază sau urmează să fie ulterior dactilografiată, este evident necesar să se folosească numai simboluri de care dispune respectiva maşină de scris. Această observaţie este valabilă mai ales atunci cînd informaţia urmează să fie prelucrată cu ajutorul unor maşini de calculat de tipul celor mecanografice (cu cartele perforate) sau electronice. Unele din aceste maşini nu au posibilitatea să prelucreze şi/sau să reproducă la imprimarea rezultatului final decît un număr restrîns de simboluri, uneori numai cifre. Din aceste motive în asemenea situaţii informaţia trebuie exprimată numai cu ajutorul cifrelor, ceea ce se obţine prin *codificare.*

b. LIMBAJE. CODURI

Informaţiile cuprinse într-un document pot fi:

— valorice (de exemplu, cantităţi de materiale, durate etc.).

— nevalorice (de exemplu, denumirea întreprinderii, numele salariatului, numărul matricol, unitatea de măsură).

Informaţiile valorice se exprimă prin numere, scrise, în mod uzual, în sistemul zecimal.

---

* Noţiunea de alfabet este folosită într-o accepţiune mai largă decît în vorbirea curentă. Alfabetul conţine toate simbolurile folosite: litere, cifre, spaţii, semne de punctuaţie, semne matematice etc.

Scanned with OKEN Scanner

Informațiile nevalorice pot fi exprimate:

— prin cuvintele din limbajul natural, de exemplu: „întreprindere", „ciment", „Rădulescu Marin", „m^2");

— prin coduri.

Avantajele codurilor asupra cuvintelor uzuale sînt:

— economicitate, în sensul că se folosesc un număr mult mai mic de caractere, cu urmări asupra spațiului de scriere necesar și asupra duratei de scriere, retranscriere etc.

— posibilitatea realizării unei clasificări riguroase;

— micșorarea probabilității de interpretare sau retranscriere greșită;

— posibilitatea prelucrării cu ajutorul mașinilor automate;

Datorită acestor avantaje, folosirea codurilor constituie unul din principalele elemente ale organizării raționale chiar în fazele care preced introducerea mijloacelor moderne de calcul. De altfel, această observație nu constituie o noutate, codificarea conturilor contabile fiind un vechi și bun exemplu în acest sens.

Codurile pot fi formate numai din cifre (coduri *cifrice* sau *numerice*) sau pot cuprinde pe lîngă cifre și caractere alfabetice (coduri *alfanumerice*). La alegerea între sistemele de codificare numeric și alfanumeric, un rol esențial îl joacă posibilitățile tehnice ale mașinilor de calcul de care se dispune.

Mașinile mecanografice nu pot prelucra coduri alfanumerice, chiar atunci cînd au posibilitatea de a reproduce caracterele alfabetice.

Codurile numerice au deci avantajul universalității.

Codurile alfanumerice prezintă în schimb avantajul economicității. Într-adevăr, cu un cod format dintr-un caracter se pot reprezenta 26+10=36 elemente (26 litere și 10 cifre), deci de 3,6 ori mai multe decît cu un cod numeric de un caracter. În general, un cod alfanumeric de n caractere poate reprezenta de $3{,}6^{\,n}$ ori mai multe elemente decît un cod numeric cu n caractere.

Un alt avantaj al codurilor alfanumerice este acela de a permite memorizarea lor ușoară, în cazul în care la elaborarea lor au fost luate în considerare principii mnemonice. Așa de exemplu, codificarea întreprinderilor poate fi făcută în acest caz chiar cu inițialele lor: ICM 1, IPLC, ICLB, TUG, TRCLB. Codificarea meseriilor se poate face cu primele două litere ale denumirii sau o altă combinație memorizabilă: BE pentru betoniști, ZI pentru zidari, FE pentru fierari, GE pentru geamgii, EL pentru electricieni, MA pentru muncitori auxiliari etc. În mod asemănător se poate proceda pentru unitățile de măsură, pentru județe etc.

Pentru precizarea semnificației fiecărui cod, se elaborează cataloage de coduri. Tabelul I.1 prezintă pentru exemplificare un fragment dintr-un catalog de coduri pentru materiale.

C. PRINCIPII DE CODIFICARE

O primă posibilitate de a stabili un cod este de a numerota la rînd toate elementele care trebuie codificate, așezate într-o anumită ordine, de exemplu alfabetică, cronologică etc., numărul de ordine devenind cod.

În această categorie de coduri, numite *secvențiale*, pot fi considerate: numărul matricol al salariatului (marca), numărul de proiect etc.

Tabelul I.1

Cod	Denumirea produsului	Marca	Ambalaj	Preț	Observații
2.17.03.1.022	Ciment portland	P 400	Vrac	0,250	
2.17.03.1.023	Clinker portland		Vrac	0,165	
2.17.03.1.024	Ciment portland cu adaos de zgură de furnal	PZ 400	Saci	0,250	
2.17.03.1.025	Idem	PZ 400	Vrac	0,225	
2.17.03.1.026	Idem	PZ 500	Saci	0,285	
2.17.03.1.027	Idem	PZ 500	Vrac	0,265	
2.17.03.1.028	Ciment portland cu căldură de hidratare moderată		Saci	0,237	
2.17.03.1.029	Idem		Vrac	0,217	
2.17.03.1.030	Ciment portland cu întărire rapidă	RIM 200	Saci	0,300	
2.17.03.1.031	Idem	RIM 200	Vrac	0,275	
2.17.03.1.032	Ciment rezistent la ape sulfatice		Saci	0,240	
2.17.03.1.033	Idem		Vrac	0,215	
2.17.03.1.034	Ciment cu tras	T 25	Saci	0,250	
2.17.03.1.035	Idem	T 25	Vrac	0,225	
2.17.03.1.036	Ciment maritim tip portland	MPA 400	Saci	0,292	
2.17.03.1.037	Idem	MPA 400	Vrac	0,263	
2.17.03.1.038	Ciment cu praf recuperat de la cuptoarele de clinker	CP 250	Saci	0,160	
2.17.03.1.039	Idem	CP 250	Vrac	0,140	
2.17.03.1.040	Ciment pentru sonde	TS 60	Saci	0,270	
2.17.03.1.041	Ciment portland port	P 500	Saci	0,265	
2.17.03.1.042	Ciment portland port	P 400	Saci	0,235	
	Ipsos				
	Ipsos de construcții				
2.17.03.2.001	Cal. I	—	Saci	0,205	
2.17.03.2.002	Cal. II	—	Saci	0,180	
2.17.03.2.003	Cal. I export	—	Saci	0,140	
	Ipsos de modelat				
2.17.03.2.011	Cal. I	—	Saci	0,250	
2.17.03.2.012	Cal. II	—	Saci	0,210	
2.17.03.2.013	Special	—	Saci	0,270	

Avantajul acestui sistem este economicitatea maximă în ceea ce privește numărul de caractere necesare. În schimb, cantitatea de informație este cea mai mică, în sensul că dîndu-se codul unui anumit element nu se poate cunoaște nici o proprietate a acestuia pînă în momentul în care nu se identifică complet elementul.

Scanned with OKEN Scanner

Dezavantajul menționat poate fi eliminat elaborînd codurile pe baza unei clasificări. Un exemplu de astfel de cod este indicativul analizelor republicane de deviz. Întîlnind de exemplu codul CA 10, se știe că articolul corespunzător poate fi găsit în cartea C, deci este un articol de construcții, și anume la cap. A, și deci este un articol privind betoanele.

Consecința este că aceste tipuri de coduri permit gruparea mecanică a informațiilor deținute pe anumite criterii, în scopul prelucrării lor. Așa de exemplu, pentru organizarea și planificarea unui șantier, ar putea fi necesar să se cunoască valorile totale, pe capitole de lucrări principale: betoane, cofraje, armături, zidării, tencuieli etc. Aceasta revine la a spune că se cere gruparea tuturor articolelor din toate devizele diferitelor obiecte de șantier, după criteriul primelor două caractere ale codului, și apoi efectuarea însumării pe aceste grupe. Această operație de grupare poate fi făcută cu ușurință de către calculatoarele electronice, iar pentru cazul codurilor numerice și de către mașinile mecanografice.

Elaborarea unui catalog de coduri presupune deci efectuarea în prealabil a unei clasificări sistematice a elementelor care trebuie codificate.

Pentru exemplificare să presupunem că se cere o codificare a tuturor întreprinderilor din țară. Pot exista mai multe criterii de clasificare: după forul tutelar, după județ, după grad, după numărul de salariați etc. Clasificarea cea mai rațională este în acest caz cea după forul tutelar.

În fig. I.1. se arată schema acestei clasificări care prezintă trei trepte:

— treapta I: „ministerul" (ministerul, organul central, consiliul popular județean, uniunea);

— treapta II: direcția generală, centrala;

— treapta III: întreprinderea.

După elaborarea clasificării, în funcție de numărul de subdiviziuni ale fiecărei trepte, se acordă pentru fiecare treaptă numărul corespunzător de caractere. Astfel, pentru cazul analizat, trebuie acordate:

— pentru treapta I, trei cifre, deoarece numărul total al „ministerelor" depășește 100;

— pentru treapta II, două cifre, deoarece unele „ministere" au un număr de direcții și direcții generale mai mare de 10;

— pentru treapta III, două cifre, deoarece numărul întreprinderilor în cadrul unei direcții generale depășește în multe cazuri 10 dar nu depășește în nici un caz 100.

Rezultă că pentru problema studiată codul trebuie să aibă în total 7 cifre. Codul 131.09.14 reprezintă întreprinderea 14 din cadrul direcției generale 9 a „ministerului" 131.

Codul astfel obținut definește în mod strict elementul respectiv. Niciunul din caracterele codului nu poate lipsi fără ca prin aceasta elementul să devină neidentificabil. Codurile care prezintă această caracteristică se numesc *coduri de identificare.*

Codul de identificare nu poate da însă toate informațiile posibile despre elementul respectiv.

Din acest motiv apare necesitatea folosirii unor coduri suplimentare, care să caracterizeze mai amănunțit elementele pe care le reprezintă. Acestea sînt *codurile de caracterizare*. Absența completă sau parțială a codului de caracterizare nu împiedică identificarea elementului, care, după cum s-a arătat, se poate face exclusiv cu ajutorul codului de identificare.

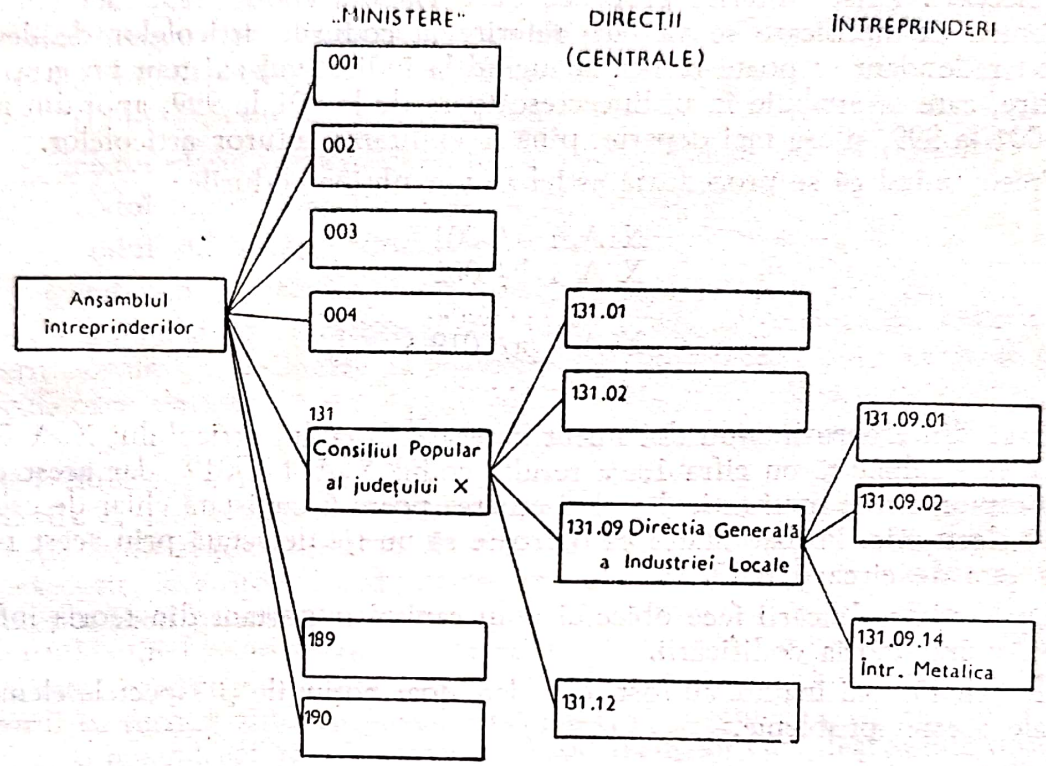


Fig. I.1

Astfel, pentru caracterizarea suplimentară a întreprinderilor se poate adăuga un cod care să reprezinte gradul întreprinderii, de exemplu: 31.09.14/2.

Este rațional ca toate caracterele codului de identificare să formeze un grup compact, să nu conțină printre ele coduri de caracterizare. De exemplu, în cazul în care există un cod care caracterizează *felul* „ministerului", este cu totul nerecomandabil ca acesta să urmeze imediat după primul grup de cifre (de exemplu: 131.2.09.14) unde cifra 2 ar indica că este vorba, de exemplu, de un consiliu popular județean; el trebuie integrat în grupul de coduri de caracterizare, care urmează după codul de identificare.

Coduri redondante. Caracteristica unor coduri de a reprezenta o anumită informație cu un număr minim de simboluri poate constitui un dezavantaj: dacă din greșeală se schimbă unul sau mai multe din simbolurile codului, se obține în general un nou cod, care corespunde unui alt element, ceea ce poate avea urmări deosebit de neplăcute.

Astfel de greșeli pot apărea la copierea codului din catalog pe document, la transcrierile repetate ale documentului, la transmiterile verbale, la perforarea

cartelelor sau benzilor; cele mai frecvente greșeli sînt: confundarea cifrelor 1 cu 7 și cu 4, 2 cu 3 și cu 5, 6 cu 7 (în cazul transmiterilor verbale), intervertirea a două cifre succesive etc.

Pentru a face posibilă depistarea unor astfel de greșeli se folosesc coduri redondante. Aceste coduri folosesc un număr de simboluri mai mare decît cel strict necesar. Există diferite procedee de a elabora coduri redondante.

Pentru exemplificare se va face referire la codurile articolelor de deviz. Un cod redondant se poate realiza adăugînd la indicativul existent un grup de trei cifre, care se atribuie în ordine crescătoare de la 001 la 999, apoi din nou de la 001 la 999, și așa mai departe, pînă la epuizarea tuturor articolelor.

Presupunînd că se procedează astfel se vor obține codurile:

X A 1 a/ 001
X A 1 b/ 002
. . . . . .
X A 7 a/ 019
. . . . . .

Dacă din eroare într-un document oarecare în codul articolului X A 7 a, cifra 7 este înlocuită cu cifra 1, va rezulta codul X A 1 a/019; dar acest cod nu corespunde nici unui articol real și eroarea poate fi depistată chiar de calculatorul electronic. Probabilitatea ca o eroare să nu fie detectată prin acest procedeu este de circa 1/1000.

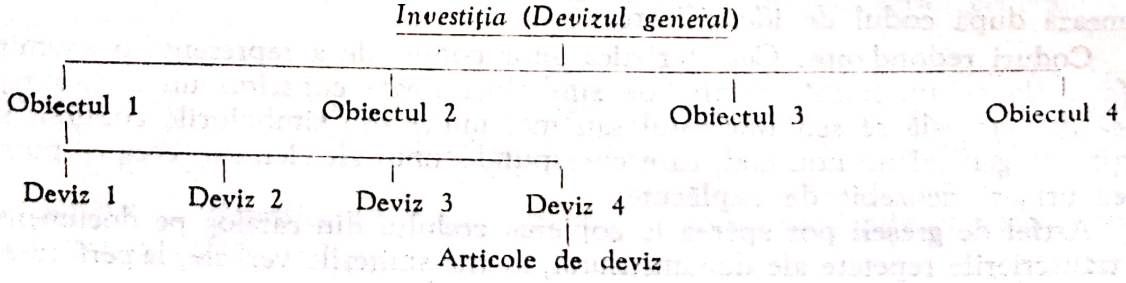
Problema codificării face obiectul unui capitol important din teoria informației, numit teoria codificării.

În cele de mai înainte au fost semnalate doar noțiunile și aspectele elementare ale acestei probleme.

3. CODIFICAREA PROIECTELOR

Proiectul constituie una din principalele surse de informații în construcții. Pe baza informațiilor din proiecte se întocmește planul de investiții, planul de construcții montaj, planurile calendaristice, documentele de decontare a producției de construcții-montaj și se execută construcția.

Informația elementară (unitatea informațională) a devizului este articolul de deviz. Clasificarea articolelor de deviz care compun investiția este următoarea:



Codul de identificare al unui articol de deviz se poate obține alăturînd codul investiției, codul obiectului, numărul de ordine al devizului pe categorii de lucrări în cadrul obiectului, numărul de ordine al articolului de deviz în cadrul devizului. La rîndul lui codul investiției poate fi format din codul „ministerului" beneficiar și un număr de ordine al investiției în cadrul beneficiarului respectiv.

Sînt necesare și o serie de coduri de caracterizare a investiției:

— codul beneficiarului de dotație și
— codul acțiunii de plan, necesare la elaborarea planului de investiții;
— codul clasei obiectului (caracteristicile tehnice ale obiectului);
— codul antreprenorului general al investiției;
— codul subantreprenorului și al subunității (șantier, lot);
— indicativul articolului de deviz.

O problemă de mare actualitate este elaborarea și folosirea unor sisteme internaționale de codificare a proiectelor, adaptate în același timp și pentru calculatoare electronice.

Un astfel de sistem, recent propus, este sistemul danez CBC (Co — ordinated Building Communication = Sistem coordonat de comunicare în construcții). Avînd la bază o clasificare și codificare a tuturor elementelor de construcție, acest sistem face posibilă o codificare unitară și sistematică a desenelor de execuție, indicatoarelor de pe planșe, articolelor de deviz. Codul este astfel conceput încît permite analizarea automată cu ajutorul calculatorului electronic a costului unei construcții. De exemplu, în cazul în care interesează ponderea în contul construcției a costului suprafețelor vitrate, pe baza codurilor, calculatorul va furniza automat costul ferestrelor, al geamurilor, al vospitoriei ferestrelor, al buiandrugilor de la ferestre, al solbancurilor etc., deși fiecare din aceste costuri se găsește în deviz la articole diferite.

4. FORMULARUL

Formularul constituie suportul material al informației.

S-ar părea că avantajele formularului nu mai trebuie demonstrate astăzi. Nimeni nu se mai poate gîndi că documentele contabile primare să fie întocmite altfel decît pe formulare, care de altfel sînt normalizate pe plan republican.

Totuși există încă în construcții numeroase documente pentru care se folosește doar hîrtia simplă neimprimată, eventual liniată cu creionul, sau în cel mai bun caz, formularul cumulativ, care nu conține de fapt altceva decît o simplă liniatură imprimată. Este, de exemplu, cazul rapoartelor de necesitate, întocmite în general zilnic sau săptămînal pe șantier, pentru procurarea materialelor și utilajelor, sau pentru alocarea unor echipe la diferite puncte de lucru.

În general nu se folosesc decît rar formulare specializate pentru evidența conducerii operative a producției, pentru planurile operative și chiar pentru unele evidențe statistice primare.

Scanned with OKEN Scanner

Formularul simplifică în mod considerabil munca celui care îl întocmește și a celui care îl citește, deoarece toate informațiile se găsesc întotdeauna în același loc.

Imprimatul permite în același timp o mare economie de muncă intelectuală, deoarece, fără el, fiecare înregistrare trebuie regîndită în întregime de la început. Pentru cel care trebuie să completeze un formular, analiza informațiilor care trebuie furnizate este gata făcută. Existența formularului constituie o garanție a faptului că nici o informație necesară nu poate fi omisă, fără ca această omisiune să nu fie imediat sesizată. O importantă economie de muncă se face prin faptul că o parte din informații sînt gata scrise. Un formular bine conceput poate constitui și un ghid sigur în circulația documentului și chiar un stimulent în mărirea vitezei lui de circulație.

Pentru a corespunde în mod optim scopurilor sale, imprimatul trebuie proiectat în baza unui studiu foarte minuțios al informațiilor pe care trebuie să le conțină și al circuitului său. Un formular bine studiat poate înlocui trei-patru formulare improvizate, ajutînd în acest fel la eliminarea paralelismelor neraționale între servicii, evitînd recopierea repetată a diferitelor informații etc.

Punerea la punct a unui imprimat comportă în general următoarele operații:*

— analiza rubricilor care trebuie prevăzute;
— ordonarea rubricilor;
— determinarea și poziționarea titlurilor și referințelor;
— dimensionarea marjelor, a spațiilor albe, a interliniilor;
— punerea în pagină;
— alegerea culorilor;
— elaborarea instrucțiunilor de completare și circulație.

Studiul formularelor este de o deosebită importanță în cazul în care informația pe care o conține urmează să fie prelucrată mecanografic sau electronic și deci trebuie transcrisă (în general prin perforare) pe un suport corespunzător (cartelă, bandă).

În acest caz, formularul trebuie să prevadă casete speciale pentru coduri, iar ordinea diferitelor rubrici trebuie să fie aceeași cu ordinea în care urmează să se perforeze datele. Casetele care conțin informațiile ce se perforează se scot în relief prin îngroșarea conturului iar cînd se folosesc cartele perforate, poziția fiecărui caracter de pe imprimat se numerotează cu numărul coloanei de pe cartelă în care urmează să fie perforat. În fig. I.2 (v. planșa de la sfîrșitul cărții) este reprodus un formular pentru prezentarea la calculator a datelor necesare calculării unui deviz pe obiect.

În incheierea acestui paragraf trebuie subliniată încă odată, pe lîngă importanța majoră a formularului imprimat în organizarea științifică, și necesitatea unei analize foarte atente și competente care să premeargă proiectarea machetei oricărui formular.

---

* Pentru studierea detaliată a principiilor de elaborare a formularelor vezi [19].

Scanned with OKEN Scanner

5. MULTIPLICAREA INFORMAŢIEI

Multiplicarea documentelor constituie o necesitate imperativă a organizării ştiinţifice. Fiecare salariat trebuie să cunoască cît mai repede şi în modul cel mai precis şi mai concret ceea ce are de făcut, motiv pentru care el trebuie să dispună de instrucţiuni corespunzătoare. Un „amănunt" deseori scăpat din vedere este necesitatea ca aceste instrucţiuni să-i fie prezentate într-o formă nu numai perfect lizibilă ci şi sugestivă, atrăgătoare. Consultarea documentelor respective trebuie să poată fi făcută cu cea mai mare uşurinţă şi rapiditate.

Tehnica modernă pune la dispoziţia întreprinderii mijloace moderne şi economice de copiere şi multiplicare a documentelor, care nu necesită imprimarea prealabilă a acestora pe suporturi speciale (matriţe) şi asigură o mare acurateţă a copiilor.

6. STOCAREA INFORMAŢIEI

Stocarea informaţiei (clasarea, arhivarea) pune probleme datorită volumului din ce în ce mai mare de documente folosite în organizare, ceea ce creează necesitatea alocării unor spaţii tot mai largi şi mai ales îngreunează găsirea rapidă a documentelor căutate.

De mare importanţă sînt următoarele aspecte: necesitatea reducerii volumului de documente stocate prin distrugerea documentelor inutile (unele copii), introducerea unui sistem raţional de clasificare a corespondenţei, folosirea calculatoarelor electronice pentru evidenţa arhivei, microfilmarea documentelor etc.

Pentru anumite categorii de informaţii, metoda cea mai raţională de stocare o constituie memorizarea informaţiilor de către calculatorul electronic. Întreprinderile moderne păstrează fişierele sub formă de benzi, discuri sau cartele magnetice; astfel de fişiere pot fi consultate de calculatorul electronic într-un timp extrem de scurt, iar la nevoie, informaţia căutată şi găsită poate fi prelucrată înainte de a fi pusă la dispoziţia solicitantului.

II

CIRCULAŢIA INFORMAŢIEI. ORGANISMUL ECONOMIC

La o analiză cît de sumară a unei organizaţii productive se poate constata că ea este formată dintr-un număr oarecare de compartimente, cum ar fi: sectoarele, serviciile, birourile, şantierele, atelierele, loturile, depozitele etc.

Aceste compartimente nu sînt izolate, între ele există o permanentă circulaţie.

Scanned with OKEN Scanner

Se disting:
— circulația resurselor (oameni, materiale, utilaje);
— circulația informației.

Organizația nu este izolată, ea are schimburi de oameni, materiale, utilaje, informații, cu alte organizații cum sînt: furnizorii, beneficiarii, forul tutelar.

Toată această circulație nu poate fi lăsată să aibă loc spontan, la întîmplare, fără reguli, deoarece există pericolul ca viteza de circulație să fie prea scăzută iar circulația să devină haotică. De aceea, întreaga circulație trebuie coordonată, dirijată pe baza unor reguli de circulație.

Din acest punct de vedere se poate considera, că *a organiza înseamnă a pune la punct o circulație rapidă, armonioasă și sigură.*

Circulația și prelucrarea informației sînt funcțiunile principale ale compartimentului indirect productiv al întreprinderii, în timp ce circulația și prelucrarea resurselor (punerea în operă) au loc în cadrul compartimentelor direct productive.

Prezentul capitol se va ocupa în special de problema reglementării circulației informației, ținînd seama de faptul că ea reflectă și determină și circulația resurselor.

De altfel trebuie menționat că unii autori, pentru simplitatea limbajului, folosesc termenul de circulația informației într-un sens foarte larg, incluzînd și circulația materialelor, a energiei etc.

1. ORGANISMUL ECONOMIC

În cele de mai înainte s-au stabilit două proprietăți formale, comune tuturor organizațiilor productive, indiferent de profil, mărime, mod de organizare:
— posibilitatea delimitării unor compartimente distincte;
— circulația informațiilor și a resurselor între aceste compartimente.

Aceste două proprietăți permit adoptarea unui model al organizării și funcționării oricărei întreprinderi; acest model este *organismul economic.*

Există o mare analogie între funcționarea organismelor economice și cea a organismelor biologice. Și organismele biologice (ființele vii) sînt formate din compartimente distincte (sisteme, aparate, organe), avînd fiecare funcțiuni specifice. Între aceste organe există o permanentă circulație de informații și substanțe. Astfel, organismul viu culege informații din mediul înconjurător cu ajutorul organelor de simț și le transmite la creier prin intermediul nervilor; la creier informațiile sînt prelucrate; apoi creierul ia o decizie pe care o transmite prin nervi la mușchi care execută mișcarea comandată; în particular mușchii pot transmite în afară informații prin sunete, scriere, semnalizări etc.

Un alt tip de „organisme" sînt *mecanismele*, printre care un loc deosebit îl ocupă *mecanismele automate.*

Este suficient să se analizeze un automobil pentru a constata că:
— este format dintr-un număr de organe distincte;
— între aceste organe există o continuă transmitere de materii, energie și informații; o parte din aceste informații sînt comenzile date de conducător și

care se transmit fie sub formă de mișcare mecanică, fie sub formă de impulsuri electrice pînă la organul executor. Alte informații sînt informațiile de control, emise de diferite aparate de măsură și care se transmit de obicei pe calea electrică pînă la bordul automobilului.

Studiul legăturilor, comenzilor și a controlului în sistemele tehnice și organismele vii face obiectul *ciberneticii*.

Cibernetica s-a cristalizat ca știință o dată cu apariția în anul 1948 a lucrării „Cibernetica sau știința comenzii și comunicării la ființe și mașini", a matematicianului american Norbert Wiener. Dezvoltarea ei a fost foarte rapidă. Această știință stă astăzi la baza proiectării sistemelor automate, cum sînt de exemplu calculatoarele electronice, precum și la studierea funcționării sistemului nervos al viețuitoarelor.

În ultimii ani s-a detașat ca știință independentă *cibernetica economică* care se ocupă de studiul circulației informației în organismele* economice prin analogie cu circulația informației în organismele biologice și mecanice.

Compartimentele din care este format un organism se numesc *celule*. Fiecare celulă poate fi considerată la rîndul ei ca un organism economic, respectiv fiecare organism poate fi considerat ca o celulă a unui organism economic mai mare.

Există totuși două excepții:

— statul, care este organismul care nu constituie o celulă pentru alt organism;

— celulele elementare care sînt constituite dintr-un om și/sau dintr-o mașină și locul lor de muncă.

Organismul format din celule elementare se numește organism elementar; de exemplu serviciile, formațiile minime de lucru, o coloană de autocamioane etc.

Studiul celulelor elementare și într-o anumită măsură a organismelor elementare face obiectul *organizării muncii*.

2. STRUCTURA ORGANISMULUI

Modul în care un organism este împărțit în celule constituie *structura organismului*.

Principiul fundamental al structurării (sau restructurării) unui organism economic este *principiul funcționalității* sau al *specializării*.

Proiectarea organismului trebuie să înceapă deci cu depistarea și analiza funcțiunilor pe care trebuie să le îndeplinească organismul respectiv. Urmează apoi ca pentru fiecare funcțiune să fie inființată o celulă funcțională corespunzătoare.

Una din reprezentările cele mai uzuale ale structurilor sînt *schemele de subordonare* sau de ierarhizare (fig. II.1)

---

* Unii autori folosesc și termenii „sistem" și „domeniu" cu același înțeles.

Scanned with OKEN Scanner

Elaborarea corespunzătoare a unei astfel de scheme, cunoașterea ei de către toți salariații constituie o necesitate elementară a unei bune organizări. Una din greșelile cele mai dese care apar în aceste scheme este aceea a dublei subordonări, de cele mai multe ori gîndită sub forma: o subordonare „administrativă" și o subordonare „tehnică" sau funcțională. De exemplu, serviciul tehnic al întreprinderii este subordonat „administrativ" conducerii întreprinderii și „funcțional" serviciului tehnic al forului tutelar (fig. II.2, *a*). Un astfel de sistem nu dă în general rezultate satisfăcătoare.

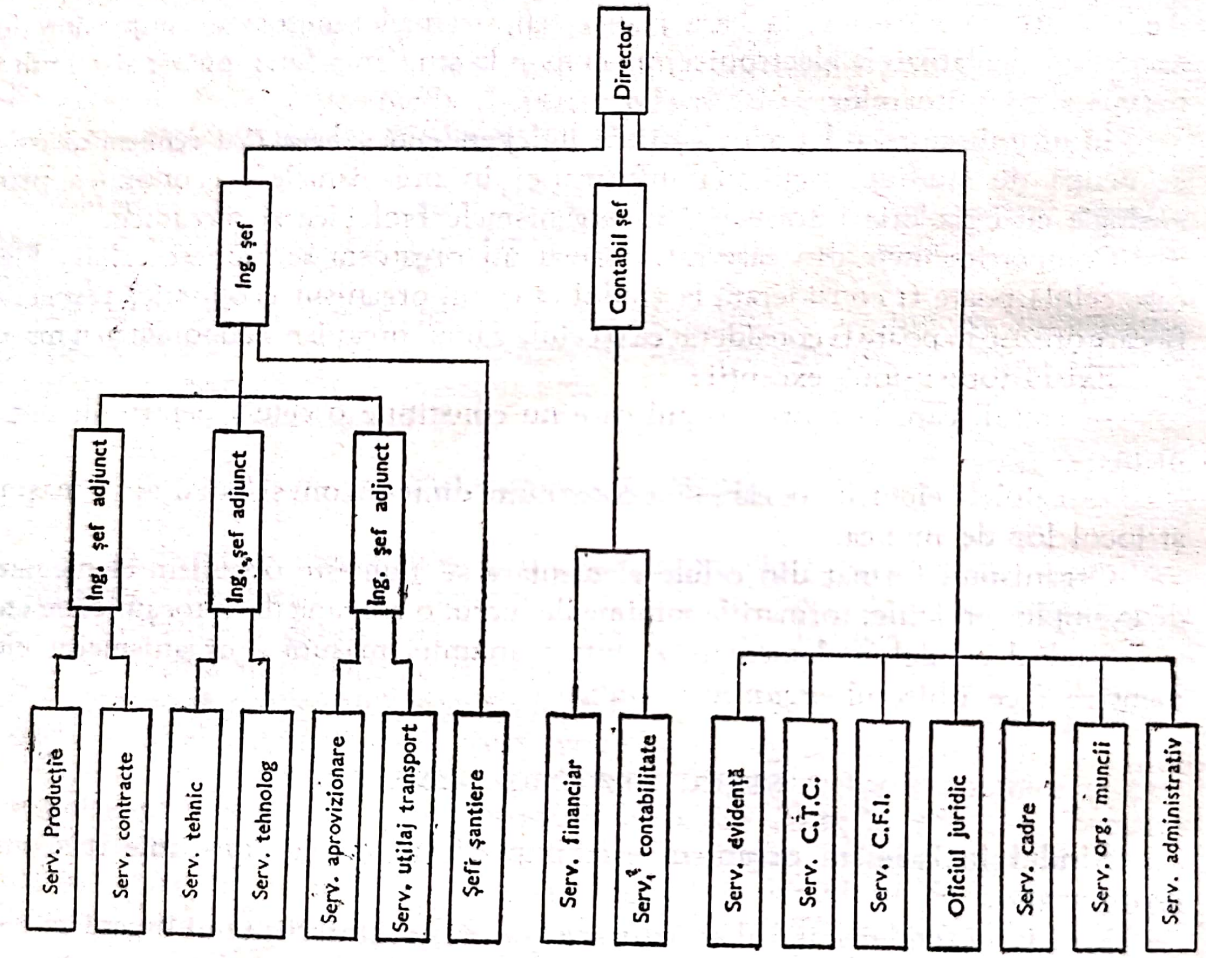


Fig. II. 1

Prin analogie este greu de imaginat un mecanism în interiorul căruia o aceeași roată dințată ar fi acționată simultan de două motoare diferite.

Aceasta nu înseamnă că toate informațiile dintre două celule oarecare ale organismului să se transmită totdeauna numai prin lanțul relațiilor ierarhice. Dimpotrivă, o organizare rațională trebuie să urmărească cu toată insistența,

ca la cadrele de conducere să nu parvină decît informațiile esențiale, care pot avea implicații asupra hotărîrilor care trebuie luate.

Din acest motiv, apare necesitatea studierii și punerii în funcțiune a unui sistem rațional de *circuite informaționale*. Reluînd exemplul anterior, între cele două servicii tehnice va fi necesar să se prevadă una sau mai multe legături informaționale (fig. II.2, *b*), rămînînd ca eventualele ordine necesare să se transmită pe cale ierarhică, prin intermediul conducerii întreprinderii.

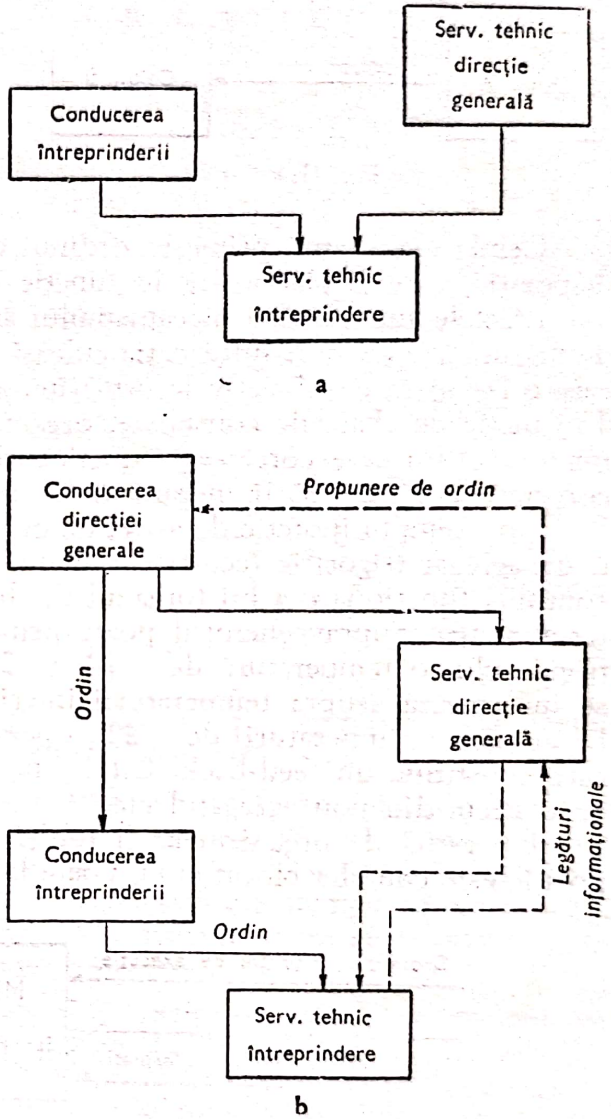


Fig. II.2

3. LEGĂTURI ȘI CIRCUITE INFORMAȚIONALE

Între două celule ale unui organism există o *legătură informațională*, dacă între cele două celule se transmite în mod regulat sau în anumite situații excepționale un anumit tip de mesaj M.

Canalul de transmisiuni este mijlocul material prin care se pot realiza legături informaționale, de exemplu: linie telefonică, legături radio, contact personal, transmiterea unui document scris prin curier etc. Un canal de transmisiuni poate fi folosit pentru mai multe legături informaționale, după cum o legătură informațională poate folosi, la nevoie, diferite canale de transmisiuni.

Studiul legăturilor informaționale se face cu ajutorul unor scheme simple în care celulele sînt reprezentate de obicei prin dreptunghiuri, iar legăturile între două celule printr-o săgeată orientată în direcția transmiterii mesajului (fig. II.3).

La elaborarea acestor scheme se aplică așa-numitul principiu al *cutiei negre*: atunci cînd nu se cunoaște sau nu interesează care este circuitul informației în interiorul unei anumite celule, aceasta se consideră (figurat vorbind) introdusă într-o cutie neagră, care nu permite să se analizeze ceea ce se petrece în interiorul ei. Ceea ce interesează este numai ce mesaje intră și ce mesaje ies din această cutie.

Scanned with OKEN Scanner

În cele ce urmează se vor analiza, prin analogie cu mecanismele, citeva scheme elementare de relații informaționale.

Cel mai simplu organism poate fi reprezentat ca în fig. II.4. El poate primi dinafară un ordin pe care îl execută. De exemplu, o macara poate primi ordinul (prin intermediul pîrghiilor și butoanelor de comandă) de a ridica o sarcină; un agregat frigorific, prin conectarea sa, primește ordinul de a funcționa și prin aceasta de a produce frig etc.

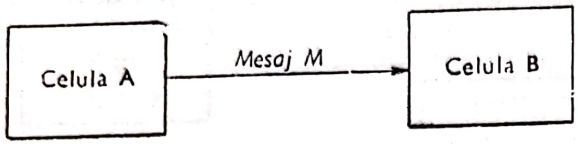


Fig. II.3

Un astfel de organism nu are capacitatea de a se regla singur.

Un organism mai complicat este prezentat în fig. II.5.

Celula executantă primește ordinul de execuție din partea unui organ de dispoziție, care îl elaborează în funcție de un obiectiv.

Efectele funcționării mecanismului sînt analizate și măsurate de un aparat de măsură sau analiză. Informația culeasă este transmisă organului de dispoziție, care o compară cu obiectivele urmărite. Această comparație se numește *control*. În funcție de abaterile constatate, organul de dispoziție transmite mecanismului un nou ordin care corectează funcționarea mecanismului. Această acțiune de corectare a funcționării mecanismului se numește *retroacțiune* sau *feed-back*.

Un exemplu ipotetic de astfel de organism poate fi format de exemplu dintr-un agregat frigorific (celula executantă) și un om însărcinat să supravegheze continua funcționare a lui (organul de dispoziție). Aparatul de măsură este un termometru. Supraveghetorul poate primi ca obiectiv să asigure în interiorul frigiderului o temperatură de $-20°$ ($\pm 2°$). El conectează aparatul frigorific și se informează asupra temperaturii interioare prin intermediul termometrului. La atingerea temperaturii de $-22°$, operatorul va deconecta agregatul, acțiune care constituie un feed-back. Cînd temperatura va crește la $-18°$, operatorul va conecta din nou agregatul etc.

Un astfel de organism ar fi totuși neeconomic deoarece organul de dispoziție este complet blocat și nu poate fi folosit și pentru alte activități.

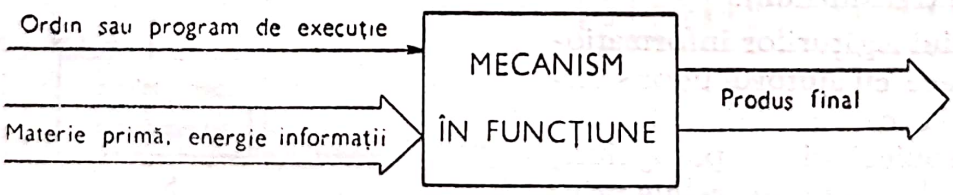


Fig. II.4

Figura II.6. reprezintă schema unui organism căruia i s-a adăugat o celulă a cărei funcție este cea de *control și reglare*. Reluînd exemplul de mai înainte, un astfel de organ îl constituie termostatul frigiderului.

Într-un astfel de organism, organul de dispoziție elaborează și emite, în funcție de obiectiv, un *program de producție* pe care îl transmite organului de control și reglare.

În cazul frigiderului, transmiterea acestui program se realizează prin reglarea butonului termostatului la poziția corespunzătoare temperaturii dorite. Rolul de control, reglare și retroacțiune îi revine de data aceasta dispozitivului de control și reglare.

Organului de dispoziție îi revine sarcina să intervină numai în cazuri excepționale, care necesită o modificare a programului sau realizarea unor acțiuni

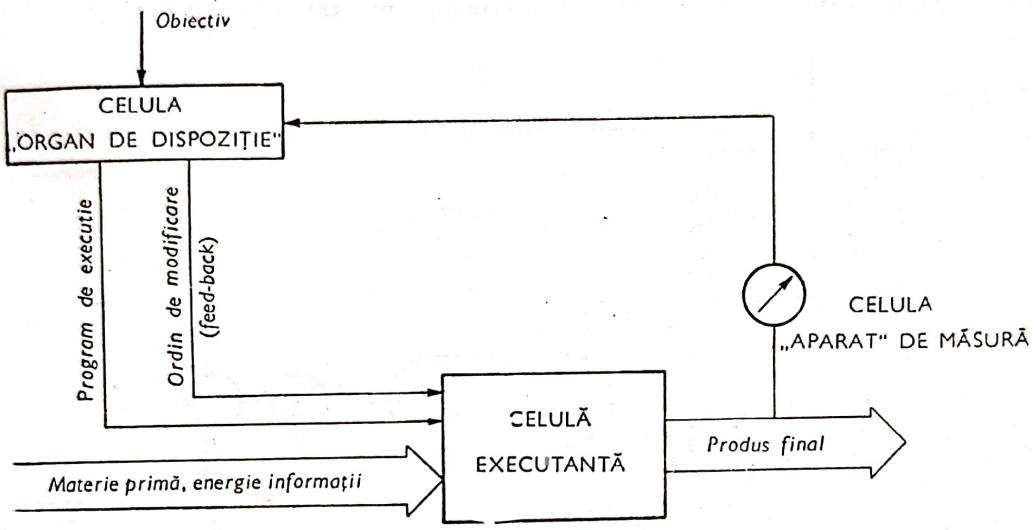


Fig. II.5

neprevăzute inițial în program (în exemplul considerat: întreruperea curentului electric, defectarea mecanismului de reglare automată etc.).

Este util să se atragă atenția asupra a două aspecte ale schemei din fig. II.6:

— aparatele de măsură ale organismului analizează *efectele finale* ale acțiunii celulei executante și nu alte aspecte intermediare ale funcționării acestuia. În exemplul amintit termostatul controlează și reglează mersul agregatului pe baza *temperaturii rezultate* și nu pe baza altor mărimi, cum ar fi numărul de turații ale motorului, tensiunea curentului electric etc.;

— organul de dispoziție nu trebuie să exercite un control permanent. El primește informațiile din partea unor aparate de măsură care nu îl sesizează decît asupra unor evenimente ieșite din comun, în fața cărora organul de reglare nu mai poate acționa. Printre aceste evenimente se numără însăși defectarea organului de reglare și control. Această funcțiune suplimentară de control din partea organului de dispoziție se numește *supercontrol*.

Principiul controlului asupra rezultatului final al acțiunii celulei executoare și principiul supercontrolului sînt cele două aspecte ale unei metode cunoscute în literatura de specialitate sub denumirea de *metoda excepției*, care este de mare importanță deoarece permite realizarea unui control eficace și în același timp economic. Ea se aplică atît în cazul mecanismelor automate, cît și în cazul organismelor economice. Din acest motiv, înțelegerea perfectă a principiilor

Scanned with OKEN Scanner

acestei metode este de cea mai mare importanță pentru studiul și perfecționarea funcționării organismelor economice.

Organismul *A* analizat în fig. II.6 reprezintă modelul cel mai simplu al unui organism care poate să-și regleze singur funcționarea, pentru atingerea unui obiectiv dat.

Un organism mai complex este organismul care poate să-și modifice singur chiar obiectivul. Un exemplu de astfel de organism este cel schematizat în fig. II.7.

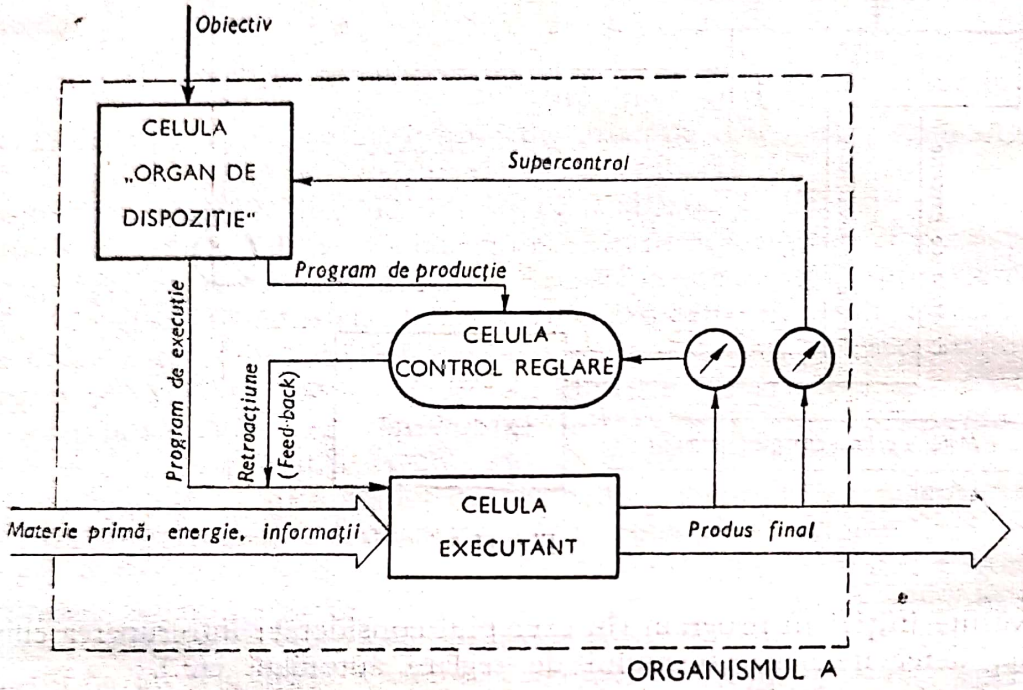


Fig. II. 6

În acest exemplu s-a reprezentat organismul *A* studiat mai înainte, încadrat ca celulă într-un organism mai mare *B*.

Organul de dispoziție *B* culege informațiile atît asupra producției celulei executante *A*, cît și din mediul înconjurător. El poate modifica obiectivul celulei *A*, cît și propriile-i obiective.

Revenind la analogia cu frigiderul, este posibil ca celula de control *B*, analizînd de data aceasta nu *temperatura*, care este produsul direct al celulei executante *A* (agregatul frigorific), ci *congelarea produselor*, care constituie produsul întregului organism *A*, să constate că temperatura de $-20°$ este exagerat de mică și că ea poate fi modificată la $-16°$. Controlul în cazul organismului *B* poate fi încredințat unui laborator care a primit un program, sub forma unor condiții tehnice pe care trebuie să le îndeplinească produsele congelate, și care are dreptul să dispună în mod direct modificarea temperaturii-obiectiv. Dacă dimpotrivă, congelarea este nesatisfăcătoare și organul de control nu reușește să regleze sistemul, organul de dispoziție *B* se sesizează singur, prin funcțiunea de supercontrol și poate întreprinde o anchetă asupra funcționării organismului

A în scopul depistării defecțiunilor. În urma unui astfel de control, organismul B își poate modifica obiectivul, respectiv poate hotărî:

— să oprească producția pentru repararea defecțiunii;

— să nu mai primească pentru congelare decît produse care necesită o temperatură mai puțin scăzută;

— să înlocuiască frigiderul defect etc.

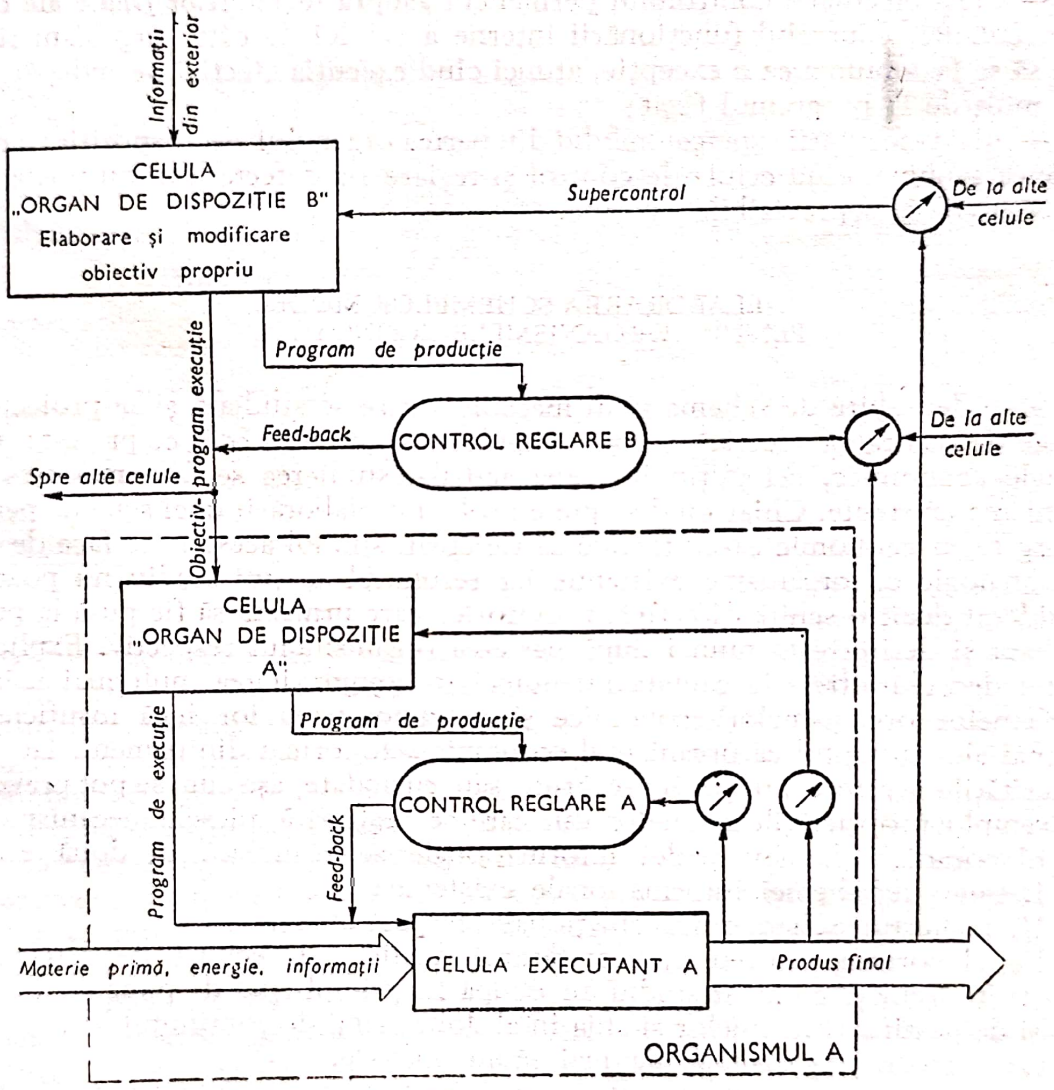


Fig. II. 7

Există două feluri de organisme care își pot modifica obiectivul:

— organisme cu *schimbare automată* a obiectivului, categorie în care intră mecanismele automate dotate cu memorie cum ar fi de exemplu o centrală telefonică, un organism condus de un calculator electronic;

— organisme cu *schimbare conștientă* a obiectivului, această schimbare fiind provocată de un element conștient, care raționează; este cazul organismelor economice, în care elementul conștient este întotdeauna omul.

Din cele arătate pînă acum în cursul acestui capitol, este important să fie reținut:

— fenomenul *feed-back*, care asigură reglarea continuă a organismului în vederea realizării cu abateri minime a unui program de producție dat;

— ideia efectuării controlului permanent asupra *rezultatelor finale* ale celulei executante, controlul funcționării interne a celulei de către organism rămînd să se facă numai ca o excepție, atunci cînd execuția efectivă se îndepărtează prea mult de la programul fixat;

— ideia efectuării *supercontrolului* din partea organului de dispoziție; acesta acționează numai cînd celula de control și reglare s-a defectat sau nu poate face față situațiilor neprevizibile apărute.

4. ELABORAREA SCHEMELOR MODEL PENTRU ORGANISMELE ECONOMICE

Spre deosebire de schema unui mecanism care se studiază și se proiectează înainte de realizarea efectivă a mecanismului respectiv, în ceea ce privește organismele economice, cel puțin în etapa actuală, studierea se face mai ales pe organisme existente. Chiar cînd se pune problema elaborării unei scheme pentru un organism economic care urmează să fie creat, studiul acesteia se face de fapt prin analogie cu organisme existente, iar rezultatul acestui studiu nu poate fi considerat decît o schiță directivă, provizorie, care urmează să fie pusă la punct detaliată și definitivată numai după nașterea organismului respectiv. Explicația acestei deosebiri trebuie căutată nu numai în complexitatea mult mai mare a problemelor organismelor economice și în cunoașterea lor încă insuficientă, dar mai ales în faptul că organismul economic este format din oameni, iar particularitățile acestora nu pot fi prevăzute sau cmandate, așa cum se pot prevedea de exemplu proprietățile metalelor din care se realizează piesele mecanismelor.

Elaborarea schemei rețelei informaționale se realizează în două etape:

I. releveul schemei informaționale existente;

II. proiectul schemei informaționale perfecționate.

La elaborarea releveului, cercetătorul analist sau echipa de cercetători analiști însărcinați cu acest studiu se ocupă în primul rînd de punctele de plecare și de destinația mesajelor și abia în al doilea rînd de conținutul lor.

Cercetătorii pot face uz de mai multe metode.

1) *Interviul* constituie metoda cu care trebuie începută orice investigație de acest gen. Întrebările care se pun pot fi: de la cine primiți ordine? Cu cine vă consultați și în ce probleme? Cui raportați? Pe cine alarmați în cazuri neobișnuite? Cui dați ordine? Cine vă raportează? De la cine primiți documentele cu care lucrați? Unde le trimiteți apoi? Ce documente elaborați și unde le trimiteți? etc.

Pentru fiecare din întrebările menționate este necesar să se noteze și *cînd* sau *cît de des* au loc schimbările respective de mesaje, iar uneori și *dece* este

necesar un anumit mesaj. Pentru fiecare persoană interogată sau celulă a organismului examinată, se întocmește lista documentelor și a celorlalte categorii de mesaje mai importante, recepționate sau transmise.

Rezultatele pot fi reprezentate și grafic, ca în fig. II.8.

2) *Observația directă* are ca scop principal verificarea și completarea rezultatelor obținute prin interviuri, care de multe ori, intenționat sau nu, pot fi eronate sau incomplete.

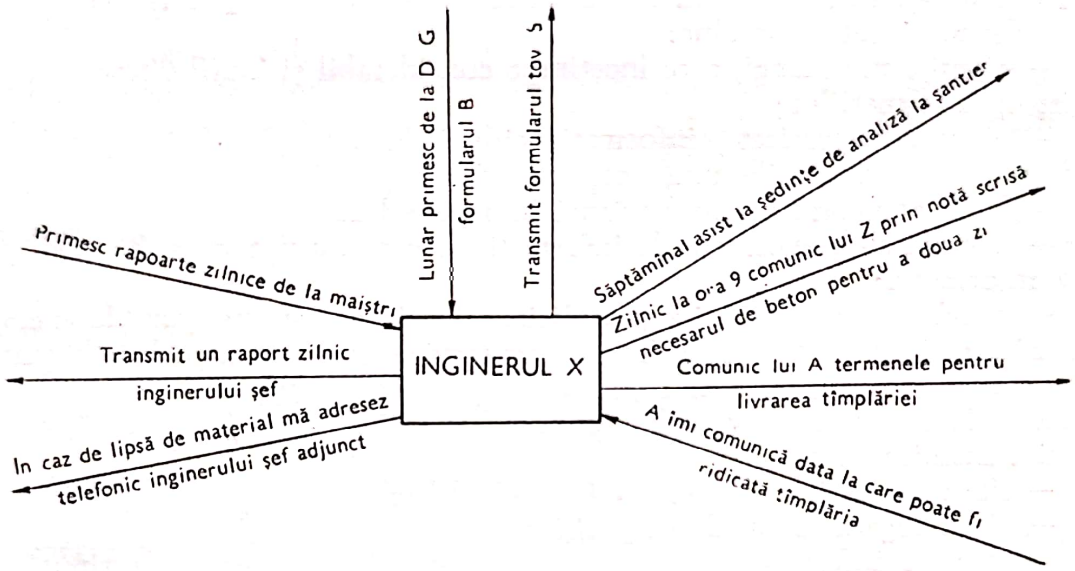


Fig. II.8

3) *Selecția* (sondajul) este o metodă de cercetare statistică, prin care se urmărește cunoașterea unui ansamblu mare de elemente, prin studierea unui număr restrîns de elemente, colectate *întîmplător* din ansamblul mare. Teoria selecției stabilește printre altele cît de mare trebuie să fie selecția pentru ca ea să fie reprezentativă.

Metoda selecției se aplică pentru a determina frecvența și volumul diferitelor mesaje: de exemplu, frecvența și durata convorbirilor telefonice între două posturi date, în cursul unei luni, durata medie necesară pentru intrarea în legătură cu un post telefonic solicitat, numărul de documente, pe feluri, care sînt tratate lunar în cadrul unui anumit serviciu, durata medie care se afectează fiecărui document în parte.

După culegerea datelor cu ajutorul metodelor menționate se alcătuiește, prin mai multe încercări succesive, schema legăturilor informaționale.

Durata de elaborare a unei astfel de scheme poate varia între două săptămîni și trei luni, în funcție de importanța și complexitatea organismului studiat.

Urmează etapa de *verificare* a schemei, care se face în mod special prin consultarea diferitelor persoane care au fost interogate în cursul studiului.

Schema legăturilor informaționale permite:

a) cunoașterea aprofundată a alcătuirii și funcționării întreprinderii de către echipa de analiști. Cu această ocazie se pot delimita funcțional diferitele sectoare

ale organismului, se poate depista influența activității dintr-un sector asupra altor sectoare, ceea ce permite aplicarea în fiecare sector a metodelor potrivite de rezolvare a problemelor, metode care fac obiectul părților a doua și a treia ale acestei lucrări. Schema legăturilor folosește mult pentru precizarea ideilor și noțiunilor în convorbirile care au loc între echipa de analiști și conducerea organismului;

b) studiul problemelor de transmitere a informației, în vederea perfecționării sistemului informațional. Principalele defecțiuni care pot fi depistate pe baza releveului întocmit sînt:

— circuite prea lungi, care încetinesc considerabil și inutil viteza de transmitere a informațiilor;

— circuite neprecizate, informația circulă la întîmplare, și de multe ori ocolește tocmai posturile unde este necesară;

— lipsa completă a unor legături indispensabile;

— posturi supraîncărcate de informație și care nu pot trata în mod operativ informația;

— canal de transmisiuni suprasolicitat și prin aceasta nesigur (de exemplu număr insuficient de posturi telefonice la un serviciu cu trafic mare de informații);

— canal de transmisiuni necorespunzător pentru tipul de mesaje studiat (de exemplu transmiterea verbală a unor informații de mare importanță, care ar trebui transmise în scris);

— lipsa legăturilor de retroacțiune (feed-back);

— lipsa organismului de dispoziție;

— circuite informaționale paralele, pe care circulă mesaje de tipuri asemănătoare cu conținuturi deseori contradictorii, care nu sînt confruntate însă în scopuri de control;

— obiective nedefinite, uneori în opoziție unele cu altele;

— organe diferite avînd aceleași funcții;

— același organ avînd funcții diferite, incompatibile între ele.

5. PERFECȚIONAREA CIRCUITELOR INFORMAȚIONALE. REORGANIZAREA

În cele mai numeroase cazuri simpla desenare a schemei de transmisie sugerează de la sine anumite îmbunătățiri. Pentru exemplificare se menționează cazul real al unei întreprinderi — antreprenor general *A*, care contracta toate lucrările de instalații electrice cu o subantrepriză de specialitate *B*, care la rîndul ei, contracta lucrările de instalații exterioare cu o întreprindere de construcții și montaje energetice *C*. Întreprinderea *C* subcontracta executarea lucrărilor de construcții aferente (posturi trafo) cu întreprinderea *A*. Întreprinderea *A* era foarte nemulțumită de faptul că nu reușea să constrîngă întreprinderea *C* să realizeze o devansare a lucrărilor, astfel încît instalațiile definitive să poată folosi pentru alimentarea șantierului. Desenarea schemei de legătură a pus în evidență cauza principală a acestei situații: circuitul era prea lung și cuprindea în mod inutil întreprinderea *B*, care era dealtfel complet neinteresată în urgentarea lucrărilor (fig. II.9).

Scanned with OKEN Scanner

În alte cazuri defecțiunile și posibilitățile de îmbunătățire nu apar atît de evident, ele trebuie puse în evidență prin analiză și studiu.

Problema reorganizării *efective* a sistemului informațional pune de multe ori probleme delicate, în primul rînd datorită dificultăților de modificare a obiceiurilor încetățenite și datorită nereceptivității unor persoane. De aceea reorganizarea unui organism cere mult tact și răbdare; ea presupune elaborarea unui plan amănunțit de acțiune, *etapizarea modificărilor*, pregătirea lor atentă prin elaborarea, multiplicarea și difuzarea de instrucțiuni foarte clare, instruirea atentă a fiecărui salariat în parte și exersarea prealabilă a noului mod de a opera (simulare), studierea și punerea la punct a unor formulare corespunzătoare etc. Nu trebuie să se piardă din vedere că în mod inerent, reorganizările de amploare duc la o scădere temporară a capacității de producție a organismului. Acest lucru nu trebuie să sperie sau să dezarmeze.

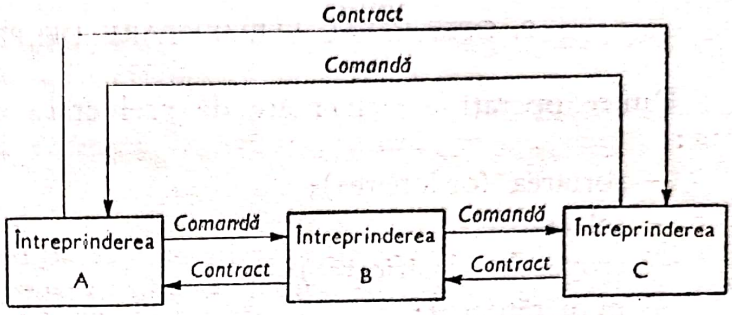


Fig. II.9

Nu trebuie de asemenea să alarmeze faptul că în perioada formării noilor deprinderi și obiceiuri conducerea organismului trebuie să ducă o luptă încordată pentru respectarea noului sistem, pentru a se evita întoarcerea la vechile obiceiuri.

De altfel grija din partea conducerii pentru respectarea circuitelor informaționale stabilite trebuie să fie permanentă. În caz contrar sistemul informațional are tendința de a se degrada, așa cum orice obiect material are tendința de a se uza.

III

PRELUCRAREA INFORMAȚIEI. PREZENTAREA REZULTATELOR

1. FUNCȚIUNEA PRELUCRĂRII INFORMAȚIEI

Din analiza organismelor, efectuată în capitolul precedent, a rezultat necesitatea existenței unei celule care a fost numită *aparat de măsură* sau *analizor*.

În cazul mecanismelor aparatele de măsură pun informația sub o formă care să o facă interpretabilă de organul care va avea nevoie de ea: forma vizuală pentru oameni, impulsuri electrice pentru organele acționate electric etc.

O funcțiune similară cu cea a aparatelor de măsură din mecanisme o au în organismele economice celulele însărcinate cu *prelucrarea informației*, prelucrare care are rolul de a pune informația sub o formă cît mai ușor de interpretat de către persoanele care au nevoie de ea.

2. OPERAȚIILE ELEMENTARE DE PRELUCRARE

Dintre operațiile elementare de prelucrare a informației mai importante sînt:

— sortarea (ordonarea);
— selectarea;
— gruparea (clasificarea);
— numărătoarea;
— prelucrări numerice;
— reprezentări grafice.

Scopul *sortării* este de a ordona informațiile în funcție de anumite criterii. Așa de exemplu, bonurile de materiale se pot sorta după criteriul *numărului bonului* sau după criteriul *obiectului* pentru care au fost ridicate materialele, sau după criteriul *materialului*. Salariații pot fi „sortați" după profesiune, după vîrstă, după vechimea în întreprindere, după salariu, după componența familiei, după numărul matricol. Obiectele de construcție executate de întreprindere pot fi sortate după criteriul datei de începere, sau al datei de terminare, în ordinea descrescătoare a valorii, în ordinea descrescătoare a duratei de execuție, după criteriul beneficiarului etc. Sortările se pot face și după două sau mai multe criterii, dar atunci trebuie indicată ordinea criteriilor. De exemplu, avizele de expediție pot fi sortate după criteriul depozitului furnizor și, în cadrul fiecărui depozit, după criteriul șantierului primitor sau pot fi sortate întîi după criteriul șantierului primitor, iar în cadrul fiecărui șantier, după criteriul depozitului expeditor.

După cum a rezultat din exemplele date, criteriile pot fi uneori informații valorice (durata de execuție), alteori informații nevalorice (depozitul, șantierul, beneficiarul). În acest ultim caz, rolul codurilor în simplificarea operației de sortare apare ca deosebit de important.

Selectarea urmărește alegerea după un anumit criteriu, din masa de informații disponibile, numai a unei părți din informații în vederea transmiterii lor mai departe, într-o anumită direcție. De exemplu, din informațiile disponibile privind stocurile unui anumit șantier se pot selecta pentru informarea șefului de șantier informațiile privitoare la stocurile care au scăzut sub 1,25 ori stocul minim, pentru informarea serviciului de aprovizionare al întreprinderii cele care au scăzut sub 1,10 ori stocul minim, pentru informarea conducerii întreprinderii cele care au scăzut sub stocul minim.

Prin *grupare* se urmărește formarea de *grupe* sau *clase* de elemente avînd caracteristici apropiate. De exemplu, în cazul analizării rezultatelor la rupere a

cuburilor de beton, se pot forma clase conținînd rezultatele cuprinse între anumite limite, astfel:

— între 100 și 109 kgf/cm²;
— între 110 și 119 kgf/cm² etc.

Prin *numărătoare* se urmărește stabilirea frecvenței elementelor în cadrul diferitelor clase astfel constituite.

Prelucrările numerice (calculele) care se efectuează în cadrul întreprinderilor asupra informațiilor culese sînt clasificate în general în:

— calcule tehnico-operative (de exemplu: determinarea efectivelor zilnice, calcule de determinare rapidă a producției zilnice, a stocurilor etc.);
— calcule statistice;
— calcule contabile.

Fiecare din aceste categorii de calcule își are particularitățile sale, determinate de scop; trebuie reținut totuși că introducerea calculatoarelor electrice anulează unele din particularitățile „clasice", calculele tehnico-operative tind să atingă precizia calculelor contabile, iar acestea rapiditatea celor tehnico-operative.

Toate cele trei categorii de calcule prezintă o mare importanță pentru conducerea științifică a întreprinderii. Cunoașterea cît mai completă de către ingineri a principiilor și metodelor contabilității, constituie o condiție strict necesară pentru a se asigura colaborarea rodnică între sectoarele tehnic și financiar-contabil ale întreprinderii.

Întrucît aceste principii și metode fac obiectul a numeroase tratate de specialitate, ele nu vor fi prezentate în cadrul acestei lucrări.

Calculele privind evidența tehnico-operativă, care privesc mersul producției pe intervale mici (oră, zi, săptămînă), sînt în general strict legate de metodele de planificare în timp și vor fi trecute în revistă în partea a doua a prezentei lucrări.

În acest capitol se vor trata unele aspecte fundamentale ale calculelor statistice. Marea majoritate a întreprinderilor de construcții folosesc în prezent într-o măsură neînsemnată posibilitățile metodelor statistice și acest lucru se datorează în principal cunoașterii insuficiente a acestor metode.

3. STATISTICA

Statistica este un ansamblu de metode avînd ca scop studiul numeric al colectivităților.

Colectivitățile sau *ansamblurile* studiate (denumite prin analogie și „populații") sînt formate dintr-un *număr mare* de *unități, elemente* sau *evenimente.*

Luarea în considerare a unui număr mare de unități sau evenimente permite să fie scoase în evidență caracterele cele mai frecvente, tendințele cele mai comune, să se deducă acțiunea cauzelor permanente, care este în realitate combinată cu acțiunea a numeroase cauze întîmplătoare.

Așa de exemplu, studiindu-se un număr de cuburi de beton, provenind de la aceeași betonieră, betonul fiind preparat cu aceleași materiale și cu aceeași

Scanned with OKEN Scanner

rețetă, se poate obține o informație corectă privind caracteristicile betonului care se poate realiza cu materialele și rețeta respectivă; influența asupra rezultatelor finale a factorilor întîmplători ca: diferențe de temperatură, gradul de îndesare a cubului, defectele epruvetelor, erorile de citire la presă etc. este cu atît mai mică cu cît numărul de cuburi cercetate este mai mare.

Folosirea statisticii este indispensabilă ori de cîte ori fenomenul pus sub observație este influențat de factori întîmplători. Asemenea fenomene se numesc *fenomene aleatorii* (în limba latină alea = zar), iar mărimile care descriu asemenea fenomene se numesc *variabile aleatorii*. Practic se poate spune că majoritatea mărimilor și fenomenelor care intervin în organizarea și conducerea activității productive sînt aleatorii. Astfel sînt aleatorii:

— duratele de realizare a obiectelor de construcții sau a diferitelor părți ale acestora;

— consumul de ore-muncă pentru realizarea unei unități de lucru (de exemplu pentru 1 m^3 de zidărie); factorii care influențează acest consum sînt: pregătirea și îndemînarea muncitorilor, alcătuirea formației, metoda aplicată, gradul de oboseală, temperatura mediului ambiant și în general condițiile de muncă, ritmicitatea aprovizionării cu materiale, productivitatea utilajelor, starea sculelor etc.;

— consumul de materiale pentru realizarea unei unități de lucru (de exemplu 1 m^2 mozaic); acest consum este influențat de: îndemînarea muncitorilor, calitatea materialelor componente, lucrabilitatea amestecului realizat, condițiile de muncă;

— calitatea materialelor, influențată de fabricație, modul de transport și manipulare, modul de depozitare, durata depozitării;

— coeficientul real de siguranță al construcției realizate;

— defecțiunile utilajelor și mijloacelor de transport;

— prezența la lucru a salariaților;

— defecțiunile în transporturi (auto, căi ferate);

— condițiile atmosferice;

— numărul de muncitori care se prezintă în interval de o oră la magazia de scule pentru a fi serviți;

— durata încărcării cu pămînt a unei autobasculante de către excavator;

— simultaneitatea cererilor de beton la o stație de betoane etc.

Studiul tuturor acestor fenomene nu se poate realiza într-un mod cu adevărat științific prin efectuarea unei singure observații. Nu se pot trage, de exemplu, concluzii privind frecvența și durata defecțiunilor la un parc de macarale prin studierea comportării unei macareale într-o singură zi. Studiul tuturor fenomenelor de tipul celor citate mai înainte nu se poate face decît printr-un număr suficient de mare de observații.

Cît de mare trebuie să fie acest număr astfel încît rezultatul să fie suficient de precis, dar în același timp studiul să nu devină prea lung și costisitor? Cum se pot interpreta numărul mare de rezultate, în mod inerent diferite între ele? Acestea sînt întrebările la care răspunde știința statisticii.

Scanned with OKEN Scanner

a. UNITATEA STATISTICĂ

Elementele și evenimentele care fac obiectul cercetării statistice poartă denumirea de *unități statistice*. Este de cea mai mare importanță ca unitatea statistică să fie definită complet, să nu dea naștere la interpretări diferite. Astfel, dacă se urmărește calcularea gradului de mecanizare al prelucrării oțelului-beton, unitatea statistică:

1 kg oțel-beton prelucrat mecanizat

este echivocă, deoarece prin *prelucrare mecanizată* unii pot înțelege numai tăierea cu ștanța electrică, alții îndreptarea sau fasonarea mecanizată. De aceea, unitatea trebuie definită mai exact, de exemplu:

1 kg oțel-beton îndreptat sau fasonat mecanizat.

Alte exemple de definire corectă a unor unități statistice:

— un muncitor, de la Șantierul 4, cu salariul brut sub 900 lei, în luna decembrie 1966;

— un excavator cu capacitatea cupei de 0,350 m^3, achiziționat înainte de 31 decembrie 1955, existent în parcul inventar la 31 decembrie 1966;

— un apartament real de două camere dat în folosință în cursul anului 1967, avînd toate lucrările exterioare complet terminate, la Întreprinderea nr. 8;

— 1 000 lei producție construcții-montaj, realizată înainte de 31 decembrie 1965, neîncasată pînă la 31 martie 1966 la Trustul de construcții Suceava.

O atenție deosebită trebuie deci acordată localizării unităților studiate *în timp* și *în spațiu*.

b. METODELE DE CERCETARE STATISTICĂ

Metodele statistice sînt foarte variate, ele pot fi clasificate după diferite criterii, astfel:

1) Cercetare *directă* sau *indirectă*.

Un exemplu de cercetare directă este determinarea efectivelor zilnice, iar de cercetare indirectă, determinarea aproximativă a suprafețelor tencuite zilnic, în funcție de cantitatea de mortar consumată.

2) Cercetare *continuă*, *periodică* sau *ocazională*.

În cercetarea continuă faptele sînt înregistrate zilnic, pe măsura producerii lor (exemplu: înregistrările contabile, evidența tehnico-operativă). Cercetarea periodică se face la intervale regulate (săptămînă, lună, trimestru, an), iar cea ocazională are loc după necesități, la date oarecare.

3) Cercetarea poate fi *exhaustivă* sau *parțială*.

Cercetarea exhaustivă se face asupra tuturor elementelor colectivității (ca de exemplu: recensămînturile, dările de seamă statistice), în timp ce cercetarea parțială nu ia în studiu decît o parte a colectivității (de exemplu: sondajul).

Cercetarea parțială are avantajul de a fi mai suplă, mai economică, mai rapidă decît cercetarea exhaustivă și dă, cu condiția de a fi corect efectuată, rezultate suficient de exacte.

Scanned with OKEN Scanner

b. SERII STATISTICE

Rezultatele numărătorii elementelor sortate și grupate în funcție de o anumită caracteristică, sînt puse în mod obișnuit sub forma unor tabele de numere, denumite *serii*.

Seriile pot fi: serii de numere absolute și serii de frecvențe.

Serii de numere absolute. Principalele tipuri de serii din această categorie sînt: seria simplă normală, seria simplă cu termeni grupați, seria cumulată, seria cronologică, seria dublă.

Seria de numere absolute, simplă, normală. Un exemplu de astfel de serie este următorul:

Repartizarea oțelului-beton OL 38
pus în operă în cursul anului 1963, în Întreprinderea X, pe diametre

Unitatea de măsură = 1 tonă — Sursa: Serv. Contabilitatea Materialelor

Diametrul mm	6	8	10	14	16	20	25	30	Total
Tone oțel	605	238	715	920	1 206	1 903	720	2	6 309

Diametrul barei constituie în exemplul citat caracteristica în funcție de care s-a făcut sortarea.

Seria de numere absolute, simplă, cu termeni grupați. Într-o astfel de serie, caracteristica nu are o valoare unică, ci este cuprinsă între două limite. Elementele sînt astfel grupate pe *clase*.

Exemplu:

Consumul de muncă pe apartament convențional de 30 m² A loc*, pentru apartamentele date în folosință în anul 1964, cu structura de rezistență din beton armat monolit.

Unitatea de măsură: 1 apartament convențional — Sursa: Serv. Organizarea muncii

Consum ore/apartament	1 600–1 699	1 700–1 799	1 800–1 899	1 900–1 999	2 000–2 099	2 100–2 199	2 200–2 299	2 300–2 399	2 400–2 499	Total
Apartamente	40	160	300	950	1 100	1 210	845	240	80	4 955

Serii cumulate. Fiecare clasă a unei astfel de serii se formează din totalitatea elementelor a căror caracteristică este inferioară (sau superioară) unei mărimi date.

Prin prelucrarea tabelului precedent se poate obține:

Numărul de apartamente convenționale de 30 m² A loc date în folosință în cursul anului 1964, cu structura de rezistență din beton armat monolit, având consumul de ore superior unei limite date.

Unitatea de măsură: 1 apartament convențional — Sursa: Serv. Organizarea muncii

Consum ore/apartament	Peste 1 600	Peste 1 700	Peste 1 800	Peste 1 900	Peste 2 000	Peste 2 100	Peste 2 200	Peste 2 300	Peste 2 400	Peste 2 500
Apartamente	4 955	4 915	4 755	4 455	3 505	2 405	1 165	320	80	0

* A loc = Arie locuibilă

Serii cronologice. Mărimile statistice sînt ordonate în timp „Clasa" este înlocuită prin, „intervalul de timp".

Seriile cronologice pot fi *normale* sau *cumulate.*

Exemplu de serie cronologică normală:

Cantitatea de beton turnată în cursul unui an în cadrul Șantierului 3.

Unitatea de măsură: 1 m^3 Sursa: Serv. Producție

Luna	Ian.	Febr.	Mart.	Apr.	Mai	Iun.	Iul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Cantitatea	300	200	250	400	500	610	720	680	730	700	620	500

Aceeași serie cumulată:

Luna	Ian.	Febr.	Mart.	Apr.	Mai	Iun.	Iul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Cantitatea	300	500	750	1 150	1 750	2 360	3 060	3 740	4 470	5 170	5 790	6 290

Seria statistică dublă. Gruparea se face în funcție de două caracteristici și se prezintă sub formă de tabel. Seria dublă poate fi considerată ca o grupare de serii simple.

Una din caracteristici poate fi „intervalul de timp".

Numărul de muncitori repartizați după vîrstă și salariul mediu lunar realizat. Anul 1966

Unitatea de măsură: 1 muncitor Sursa: Serv. Organizarea muncii

Salariul lei	Vîrsta ani										Total
	Sub 20	20—24	25—29	30—34	35—39	40—44	45—49	50—54	55—60	Peste 60	
Sub 700	150	102	40	150	28	10	6	1	9	2	498
700—999	20	510	600	705	690	720	400	250	20	7	3 922
1 000—1 299		20	250	200	310	400	210	112	24	15	1 541
1 300—1 599			20	40	90	80	2	10	6	9	257
1 600—1 799				4	10	25	16	9	7	7	78
Peste 1 800					2	7	25	10	8	5	57
Total	170	632	910	1 099	1 130	1 242	659	392	74	45	6 353

Serii de frecvențe. Se numește *frecvență* a unei clase, raportul dintre numărul de unități din clasa respectivă și numărul total de unități.

$$f_i = \frac{x_i}{N}$$

în care: f_i este frecvența clasei i;
x_i — numărul de unități din clasa i;
N — numărul total de unități.

Scanned with OKEN Scanner

Referitor la un exemplu dat mai înainte, frecvența apartamentelor avînd consumul de ore cuprins între 1 600 și 1 699 este de 40 : 4 955 = 0,008.

Suma tuturor frecvențelor este egală cu 1. Dacă frecvențele se exprimă în procente, promile etc., suma frecvențelor este 100, 1 000 etc.

Exemplu:

Frecvența apartamentelor convenționale de 30 m² A loc date în folosință în anul 1964, cu structura de rezistență din beton armat monolit, după consumul de ore pe apartament

Unitatea de măsură: %

Sursa: Serv. Organizarea muncii

Consum ore/apartament	1 600 — 1 699	1 700 — 1 799	1 800 — 1 899	1 900 — 1 999	2 000 — 2 099	2 100 — 2 199	2 200 — 2 299	2 300 — 2 399	2 400 — 2 499	Total
Apartamente	0,8	3,2	6,0	19,2	22,2	25,0	17,0	5,0	1,6	100,0

Seriile de frecvențe pot fi de aceleași categorii ca și cele de numere absolute, adică: simple normale, simple cu termeni grupați (exemplul anterior), cumulate, duble, cronologice.

* * *

Din cele arătate rezultă că prezentarea tabelelor statistice trebuie să respecte o serie de reguli printre care:

— precizarea conținutului printr-un titlu complet, simplu și clar;

— indicarea sursei, suficient de precis pentru ca toate informațiile să poată fi regăsite și controlate;

— indicarea unităților;

— intitularea clară a liniilor și coloanelor;

— nu se vor reține mai multe cifre semnificative decît sînt necesare pentru precizia rezultatelor;

— se vor face trimiteri de cîte ori este necesară precizarea unor aspecte esențiale cum sînt, modul de culegere a datelor, gradul de precizie etc.;

— verificarea atentă a totalurilor;

— controlul logic al veridicității rezultatelor.

d. REPREZENTAREA GRAFICĂ A SERIILOR

Prin reprezentarea grafică a seriilor, mărimile aritmetice sînt înlocuite cu lungimi, arii sau chiar volume. Comparațiile între mărimi, tendința generală a variațiilor etc. pot fi percepute dintr-o singură privire, fără eforturi, care să solicite gîndirea. Se poate sesiza mai bine ceea ce este important și ceea ce este detaliu. Pe scurt, graficele sînt *sugestive*.

Graficele permit compararea ușoară a două serii distincte de date pentru a scoate în evidență similitudinea dintre ele, sau, dimpotrivă, deosebirile.

Astfel, prin compararea evoluției producției în cursul unui an cu evoluția producției din anii precedenți, se pot semnala ușor eventuale rămîneri în urmă sau progrese și se pot face aprecieri privind evoluția în continuare a producției

Scanned with OKEN Scanner

pînă la sfîrșitul anului. Practic, această comparare se poate face cu ușurință prin desenarea graficelor pe calc și suprapunerea lor.

Un alt avantaj al graficelor este acela de a semnala eventuale valori eronate ale căror puncte reprezentative se depărtează în mod anormal de celelalte puncte.

Un grafic corect prezentat trebuie să fie însoțit de următoarele indicații foarte clare:

— titlul, indicînd obiectul graficului;

— axele de coordonate, cu menționarea exactă a variabilelor respective; axele trebuie gradate clar;

— legenda;

— indicarea sursei.

Există numeroase moduri de reprezentare grafică. Multe din ele sînt în general cunoscute inginerului constructor.

În cele ce urmează se vor trece în revistă numai cele mai importante.

Reprezentarea seriilor de numere absolute. Seriile de numere absolute se reprezintă în mod normal într-un sistem de axe de coordonate rectangulare. Scara poate fi *normală, semilogaritmică* sau *logaritmică.*

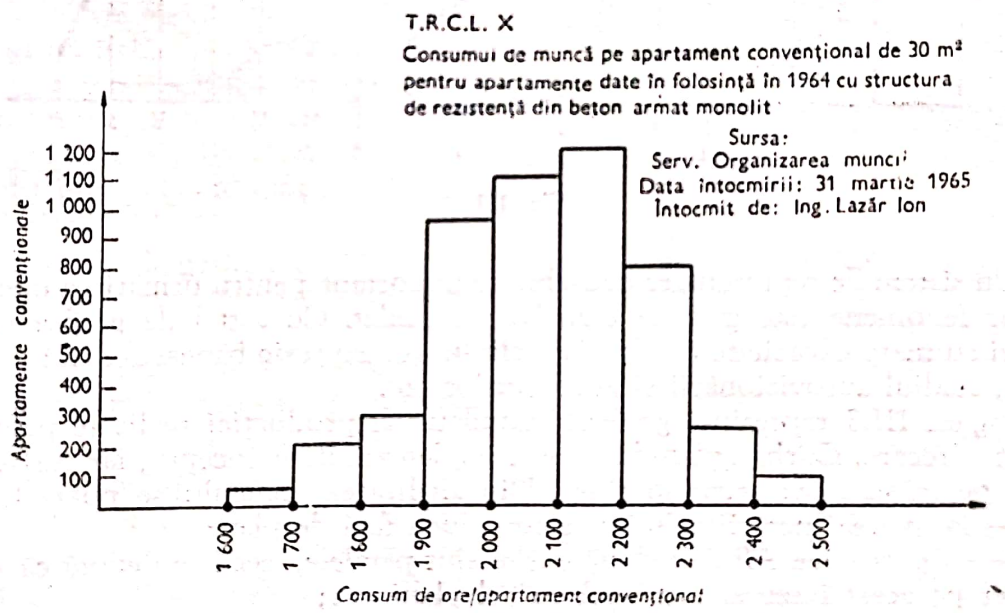


Fig. III.1

Reprezentări în axe de coordonate rectangulare cu scară normală. Principiul reprezentării în sisteme de axe rectangulare este binecunoscut. Seriile astfel reprezentate pot fi *statice* (fig. III.1) sau *dinamice* (fig. III.2).

Graficul din fig. III.2, reprezentînd variația producției la o fabrică de betoane de-a lungul a două săptămîni, prezintă cîteva particularități interesante:

— graficul producției efective *A* este comparat cu graficul comenzilor zilnice *B*. Suprafața hașurată reprezintă comenzi nelivrate;

Scanned with OKEN Scanner

— curba *C* reprezintă numărul de ore cu condiții meteorologice neprielnice turnării betoanelor. Ea constituie o justificare sugestivă a depresiunii înregistrată în zilele de 9—10;

— curba *D* reprezintă numărul de ore-defecțiuni ale betonierelor. Această curbă pune în evidență influența acestor defecțiuni asupra graficului de livrare;

— se pot constata scăderile de producție din zilele de luni și sîmbătă (efectul sfîrșitului de săptămînă).

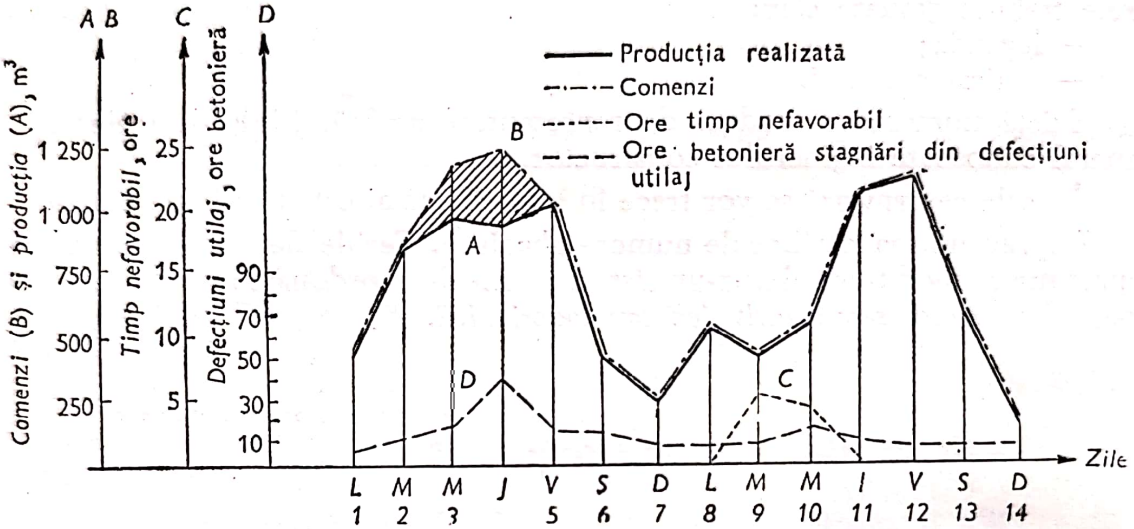


Fig. III. 2

Un sistem de reprezentare deosebit de important pentru urmărirea operativă a unor fenomene este graficul *cronologic cumulat*. Cu astfel de grafice se pot urmări cu mare eficacitate producția realizată (în expresie bănească sau în unități fizice), stadiul aprovizionării și al stocurilor etc.

Figura III.3 reprezintă graficul cumulativ al producției realizate pentru un obiect oarecare. Curba „planificat" se completează de la început, iar curba „realizat" pe măsura avansării în timp. Din analizarea graficului se poate deduce:

— începerea lucrării a întîrziat cu o lună față de plan;

— în porțiunea *AB* cele două curbe sînt paralele, ceea ce denotă că ritmul realizat pe acest interval este egal cu cel planificat;

— în porțiunea *BC* curba realizărilor fiind orizontală, rezultă o stagnare totală a lucrului la acest obiect;

— în porțiunea *DE* cele două curbe se apropie ceea ce denotă că ritmul de producție realizat depășește pe cel planificat;

— în porțiunea *EF* realizările au depășit planul;

— lucrarea a fost terminată cu două luni înainte de termenul planificat.

Figura III.4 reprezintă un grafic întocmit pe aceleași principii, însă ceva mai complex.

În acest grafic:

— curba *A* reprezintă planificarea inițială pe termen lung;

— curba *B* reprezintă replanificarea pe termen lung efectuată după trei luni de la prima planificare (pentru simplificarea figurii curbele de replanificare la 6 și 9 luni nu au fost trasate;

— curbele *C* sînt trasate pe baza planurilor operative lunare;

— curba *D* (punctată) reprezintă realizările.

În prima lună care urmează după data elaborării planurilor pe termen lung (luna 1 și 4), curba planificării operative *C* coincide cu curba planului pe termen lung (*A*, *B*).

Curbele planurilor operative *C* și a replanificării *B* pornesc întotdeauna de la punctele corespunzătoare ale curbei de realizări.

Graficul din figură se consideră completat la zi la sfîrșitul lunii 8. Se constată că pe grafic se găsește trasată și curba planului operativ pe luna 9, care pornește din punctul *E* al curbei realizărilor.

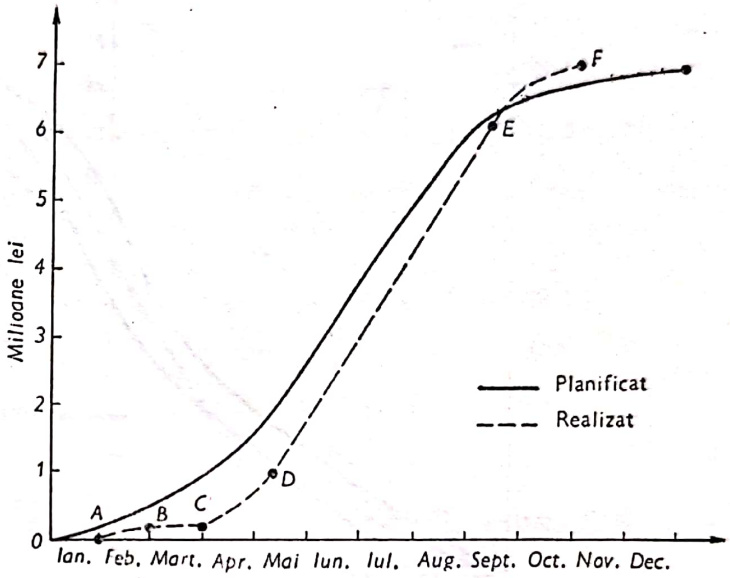


Fig. III.3

Acest tip de grafic reflectă în mod sugestiv desfășurarea efectivă a producției în comparație cu diferitele reactualizări ale planului.

Se recomandă ca scările să fie astfel alese încît tangenta la curba planificată să facă cu orizontala un unghi cuprins aproximativ între 35° și 45°. Folosirea culorilor asigură un surplus de claritate.

În fig. III.5 este reprezentat graficul cumulativ al aprovizionării și consumului unui material.

Diferențele între ordonatele curbelor de aprovizionare și consum precum și ale curbelor planificare și aprovizionare în dreptul abscisei *T*, reprezintă stocul efectiv (segmentul *1—2*) și stocul planificat (segmentul *3—4*) la momentul *T*.

Din grafic rezultă că între termenele *A* și *C* stocul a fost nul; între termenele *D* și *E* atît aprovizionarea cît și consumul au depășit planul de aprovizionare, iar între *B* și *C* aprovizionarea a stagnat complet (porțiunea de curbă este orizontală).

Grafice cu scări logaritmice și semilogaritmice. Există două situații în care graficele cu scări normale nu dau satisfacții:

— pe același grafic trebuie desenate două curbe, din care una are ordonatele mult mai mari decît cealaltă;

— la o anumită curbă interesează să se pună în evidență nu atît mărimile absolute, cît variațiile de la un punct la altul.

Scanned with OKEN Scanner

În aceste cazuri se folosesc scări semilogaritmice (axa ordonatelor este gradată logaritmic) sau logaritmice (ambele axe sînt gradate logaritmic).

Reprezentarea seriilor de frecvențe. Reprezentarea seriilor de frecvențe se face prin:

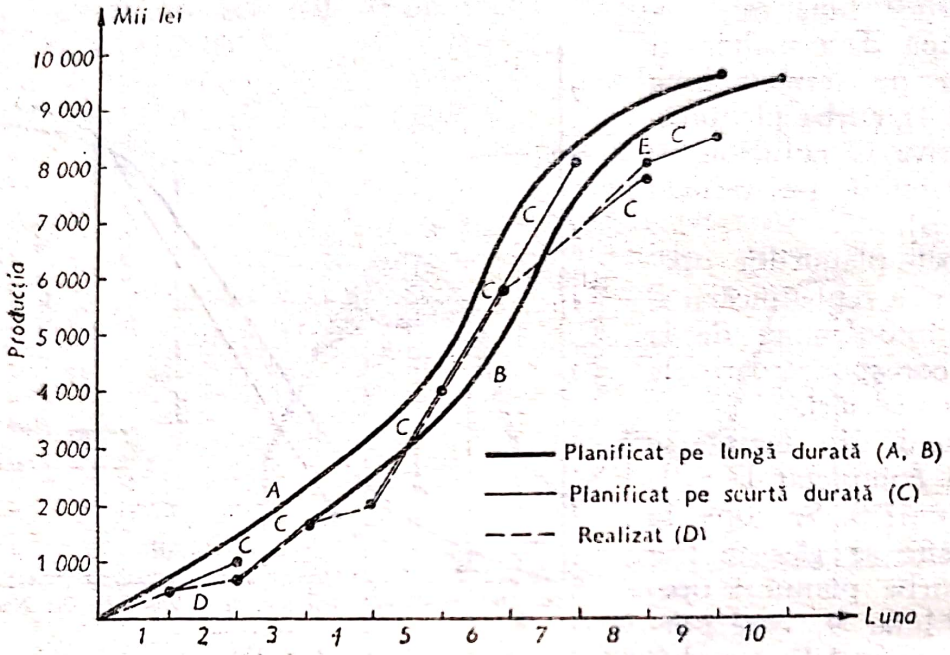


Fig. III.4

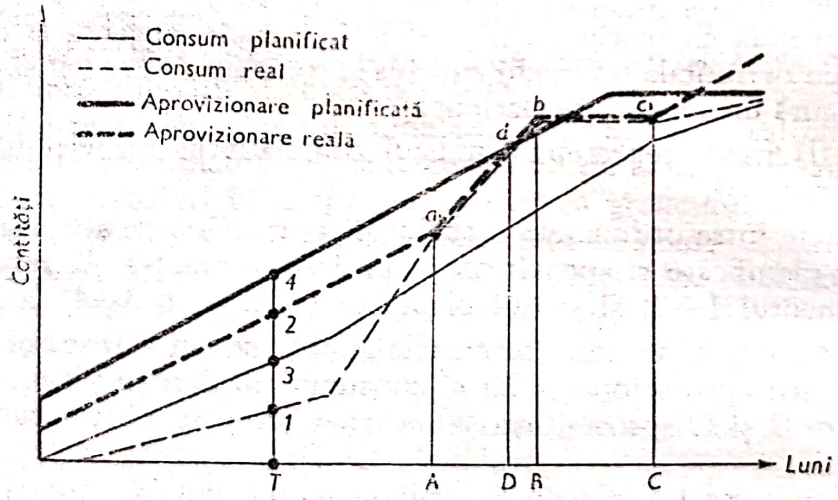


Fig. III.5

Histograme (fig. III.6), care sînt constituite prin desenarea unor dreptunghiuri alăturate, avînd bazele egale între ele și egale cu amplitudinea clasei, iar înălțimile egale cu frecvența clasei respective.

Poligonul de frecvențe se obține prin unirea punctelor a căror abscisă este mijlocul intervalului clasei (valoarea centrală a clasei) și a căror ordonate este frecvența clasei respective (v. fig. III.6).

Se pot desena histograme și poligoane de frecvență și pentru serii de frecvențe cumulate.

Intervalul claselor trebuie să fie constant.

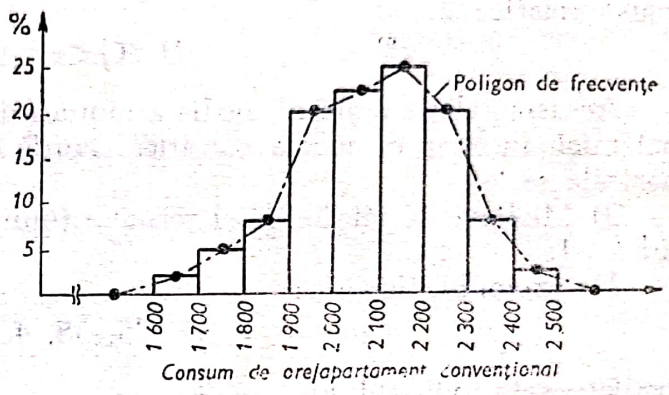


Fig. III.6

e. INDICI SINTETICI AI SERIILOR

Pentru a permite studiul și compararea ușoară a două sau mai multe serii se pot calcula diferiți sintetici care caracterizează întreaga serie.

Există două categorii de astfel de indici:

— indici (sau caracteristici) de valoare centrală;

— indici de dispersie.

Indicii de valoare centrală. Acești indici sînt: media aritmetică, media geometrică, media armonică, media pătratică, mediana, modul.

1) *Media aritmetică* $\bar{x}$ (se citește x barat):

— *simplă* (pentru serii simple normale)

$$\bar{x}=\frac{x_1+x_2+\cdots+x_n}{n}=\sum\frac{x_i}{n}; \qquad \text{(III.1)}$$

— *ponderată* (pentru serii simple grupate); dacă n_1, $n_2 \cdots n_k$ reprezintă numărul de elemente din grupele 1, 2 $\cdots$ k, iar x_1, $x_2 \cdots x_k$ reprezintă valorile centrale ale claselor, media are expresia:

$$\bar{x}=\frac{n_1x_1+n_2x_2+\cdots+n_kx_k}{n_1+n_2+\cdots+n_k}=\frac{\sum n_ix_i}{\sum n_i}=\frac{\sum n_ix_i}{N}=\sum\frac{n_i}{N}x_i=\sum f_ix_i \qquad \text{(III.2)}$$

în care $f_i=\frac{n_i}{N}$ este frecvența clasei i.

2) *Media geometrică*

$$G=\sqrt[N]{x_1^{n_1}\cdot x_2^{n_2}\cdots x_k^{n_k}}$$

unde $N=\sum_{i=1}^{k} n_i$.

3) *Media armonică*

$$H=\frac{N}{\frac{n_1}{x_1}+\frac{n_2}{x_2}+\cdots\frac{n_k}{x_k}}.$$

4) *Media pătratică*

$$\mathfrak{M} = \sqrt{\sum_{i=1}^{x} f_i x_i^2}.$$

Pentru aceeași serie cele patru tipuri de medii analizate se găsesc în următoarea relație:

$$H < G < \bar{x} < \mathfrak{M}.$$

Această relație arată că media armonică dă mai multă influență elementelor mai mici, în timp ce media pătratică acordă o influență mai mare elementelor mari ale seriei.

5) *Mediana* seriei de $2k+1$ termeni (număr impar de termeni), este termenul $k+1$.

De exemplu, în seria:

17, 25, 38, 40, 41

mediana este numărul 38.

Într-o serie de $2k$ termeni (număr par de termeni) mediana este egală cu media termenilor k și $k+1$.

De exemplu, în seria:

17, 25, 38, 40, 41, 50,

mediana este:

$$\frac{38+40}{2} = 39.$$

6) *Modul* este mărimea elementului care are cea mai mare frecvență. În seria:

Valoare	7	19	31	37	100	150
Frecvență, %	7	13	15	55	6	4

modul are valoarea 37.

Indici de dispersie. Analizînd seriile:

A: 90 95 100 105 110;

B: 10 30 100 170 190.

ambele au media egală cu 100, dar este evident că ele sînt foarte deosebite între ele. Prima are toate valorile foarte apropiate de 100, în timp ce seria a doua are valorile foarte împrăștiate.

Pentru a caracteriza mai complet seria este necesar să se calculeze și o altă caracteristică, numită de *dispersie* sau de împrăștiere.

Principalele caracteristici de dispersie sînt:

1) *Amplitudinea*, care este egală cu diferența între cel mai mare și cel mai mic termen al seriei.

Pentru seriile date mai înainte amplitudinile sînt 20 respectiv 180.

Scanned with OKEN Scanner

2) *Abaterea medie*, care este media valorilor absolute ale abaterilor față de medie:

$$\frac{\Sigma|x_i-\bar{x}|}{N}.$$

De exemplu, pentru seriile anterioare:

pentru A: $\frac{|-10|+|-5|+|0|+|+5|+|+10|}{5}=\frac{10+5+5+10}{5}=6;$

pentru B: $\frac{|-90|+|-70|+|0|+|+70|+|+90|}{5}=\frac{90+70+70+90}{5}=64.$

3) *Abaterea medie pătratică* (sau *abaterea tip*, sau *abaterea standard*):

$$\sigma=\sqrt{\frac{\Sigma(x_i-\bar{x})^2}{N}}$$

sau, în cazul seriilor de frecvență:

$$\sigma=\sqrt{\Sigma f_i(x_i-\bar{x})^2}.$$

Pătratul mediei pătratice se numește *varianță*

$$\mu=\sigma^2=\Sigma f_i(x_i-\bar{x})^2.$$

4) *Dispersia relativă* sau coeficientul de variație:

$$c_v=\frac{\sigma}{\bar{x}}.$$

4. NOȚIUNEA DE PROBABILITATE

Prin analiza seriilor, statistica permite să se cunoască fenomenele pe baza trecutului lor. De exemplu, studiind afluența muncitorilor la magazia de scule, de-a lungul a 100 ore, se poate stabili variația sosirilor la magazie printr-o serie de frecvențe: *

Nr. de muncitori sosiți într-o oră	0—4	5—9	10—14	15—19	20—24	25—29
Numărul de ore în care s-a observat această afluență	2	10	25	33	20	10

Dacă se consideră că și în viitor fenomenul se va desfășura în mod asemănător (fenomenul este *stabil statistic*), se pot face previziuni asupra frecvențelor, care vor apărea în viitor. Așa de exemplu, se va putea spune că există *o proba-*

* Un astfel de studiu este util pentru determinarea prin *teoria cozilor* a numărului celui mai economic de magazineri (v. partea a treia).

bilitate de 33% ca numărul de muncitori veniți într-o oră la magazie pentru a fi serviți să fie cuprins între 15 și 19.

Definiția clasică a probabilității este:

Probabilitatea unui eveniment care se produce la întîmplare este raportul dintre numărul cazurilor în care evenimentul se produce efectiv și numărul total al cazurilor posibile, cu condiția ca toate cazurile să fie egal posibile.

Disciplina care se ocupă cu studiul probabilităților se numește *teoria probabilităților* și constituie una dintre ramurile cele mai importante ale matematicii moderne.

Se poate spune că teoria probabilităților permite să se proiecteze în viitor experiența trecutului, care a fost studiată cu ajutorul statisticii.

Calculul probabilităților devine astfel un instrument important în conducerea organismelor economice, deoarece creează posibilitatea unei previziuni asupra fenomenelor în care intervine întîmplarea.

„Experiența personală" nu este în fond altceva decît rezultatul unei prelucrări statistice, de cele mai multe ori inconștiente, a unui număr de observații și evenimente trecute. Această experiență îi folosește practicianului prin faptul că îi permite să facă previziuni asupra modului în care se vor desfășura unele evenimente în viitor.

Dezavantajul „experienței personale" este că ea se acumulează lent și este subiectivă, incertă. Dacă în ceea ce privește detectarea unor relații *calitative*, experiența personală va rămîne totdeauna un factor important, în ceea ce privește laturile *cantitative* ale fenomenelor, statistica și calculul probabilităților o pot suplini, cu rezultate incomparabil mai bune și din acest motiv o vor înlocui treptat.

5. ELEMENTE DE STATISTICĂ MATEMATICĂ

Noțiunile statistice analizate pînă în prezent sînt caracteristice *statisticii descriptive*.

Statistica matematică, o altă ramură a matematicii moderne, analizează seriile statistice, căutînd să stabilească:

— relații matematice între mărimea variabilă și probabilitatea de apariție;

— relații matematice între două variabile aleatorii (corelație) etc.

Un capitol important al statisticii matematicii îl formează *teoria selecției*, care studiază în esență condițiile care permit să se tragă concluzii asupra caracteristicilor unei mari colectivități, pe baza studiului caracteristicilor unei mici părți a acestei colectivități, numită *selecție întîmplătoare*.

Considerînd exemplul dat în paragraful precedent, este lesne de înțeles de ce este preferabil ca în loc să se studieze sosirea muncitorilor la magazie de-a lungul a 100 de ore, să se poată obține rezultate foarte apropiate efectuînd, de exemplu, numai 30 de sondaje a cîte 15 min.

Sînt cazuri în care cercetarea exhaustivă este efectiv imposibilă. De exemplu, determinarea exhaustivă a rezistenței betonului ar presupune ca din întreaga cantitate de beton să se confecționeze cuburi de probă, care să fie încercate apoi la

Scanned with OKEN Scanner

28 de zile. O astfel de procedură ar fi evident absurdă. Practic, rezistența betonului se determină prin sondaj, dar rezultatele acestui sondaj nu pot prezenta încredere decît în măsura în care volumul sondajului (de exemplu, numărul de cuburi la 100 m^3 beton) este suficient de mare. Volumul minim al sondajului necesar pentru a obține un anumit grad de încredere se stabilește prin teoria selecției.

a. LEGI STATISTICE

Dacă numărul de observații care se reprezintă printr-o histogramă ar crește spre infinit, iar amplitudinea claselor ar deveni foarte mică, histograma se transformă într-o curbă continuă numită *curba densității de distribuție.*

Există în statistică o serie de astfel de curbe de distribuție care corespund foarte bine unui mare număr de fenomene studiate. Unele sînt întîlnite în practică atît de des încît au primit denumirea de *legi.* În continuare se vor aminti două din acestea: *legea normală* (Clopotul lui Gauss) și *legea evenimentelor rare* (legea lui Poisson).

Legea lui Gauss. Densitatea de distribuție este dată de

$$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\ e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$$

Distribuția normală este simetrică în raport cu media $\bar{x}$. Valoarea densității pentru o valoare dată x se poate obține din tabele, în funcție de variabila ajutătoare t.

$$t=\frac{x-\bar{x}}{\sigma}.$$

După cum se arată în fig. III.7 în intervalele $[\bar{x}-\sigma,\ \bar{x}+\sigma]$, $[\bar{x}-2\sigma,\ \bar{x}+2\sigma]$, $[\bar{x}-3\sigma,\ \bar{x}+3\sigma]$ se găsesc respectiv 68%, 95% și 99% din elementele repartizate după o astfel de lege.

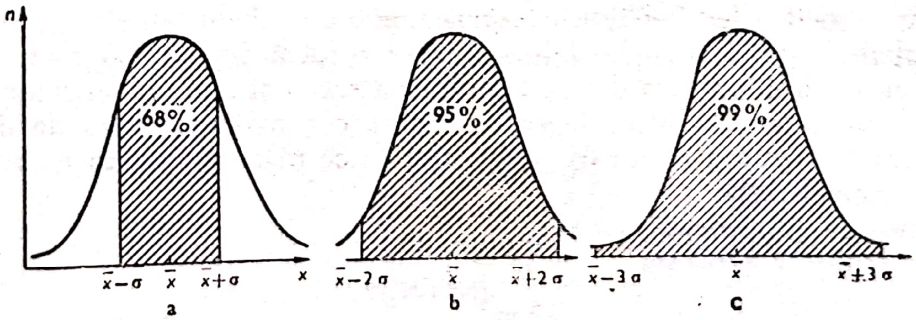


Fig. III.7

Un număr mare de fenomene reale corespund acestei legi de distribuție se menționează dintre acestea distribuția erorilor din măsurători.

Teorema centrală a calculului probabilităților demonstrează că luînd în considerare mai multe variabile aleatorii x_i $(i=1 \dots n)$, avînd fiecare media aritmetică

$\bar{x}_i$ și abaterea medie pătratică σ_i, distribuite fiecare după o lege oarecare, suma acestor variabile $\bar{x}$ este o variabilă aleatoare cu media

$$\bar{x} = \Sigma \bar{x}_i$$

și abaterea medie pătratică

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \sigma_i^2}.$$

Distribuția acestei noi variabile este cu atît mai apropiată de legea normală, cu cît n este mai mare, indiferent de legea de distribuție a fiecărei variabile.

Această teoremă explică răspîndirea foarte largă a legii normale, prin faptul că în marea majoritate a cazurilor abaterile de la medie ale mărimilor studiate constituie o însumare de abateri provocate de diferite cauze.

Această teoremă are o aplicație importantă în teoria modernă a planificării, care va fi expusă în partea a doua a acestei lucrări.

Legea lui Poisson sau legea evenimentelor rare. Această lege are un caracter discontinuu.

Frecvența are expresia:

$$f(k) = \frac{a^k}{k!} e^{a-}$$

în care a este o constantă pozitivă.

Media este a iar abaterea standard $\sqrt{a}$ (v. fig. XVI.2).

Această lege are aplicații importante în studiul fenomenelor de așteptare (v. cap. XVI). De exemplu, numărul probabil al cumpărătorilor care intră într-un interval dat într-un magazin este distribuit după legea lui Poisson.

b. AJUSTAREA UNEI SERII

Prin ajustarea seriei se înțelege căutarea legii matematice căreia îi corespunde distribuția reală a seriei. Găsirea legii matematice corespunzătoare permite să se extindă asupra seriei observate un număr de proprietăți importante demonstrate deja pentru legile de distribuție cunoscute.

Problema este destul de delicată și se rezolvă în general prin încercări. Pornind de la similitudinea dintre histograma seriei și alura diferitelor curbe de frecvențe cunoscute, se alege legea care pare cea mai apropiată de distribuția reală. Urmează un *test* prin care se verifică în ce măsură ipoteza făcută nu este cu totul improbabilă.

Practic se procedează astfel:

Se calculează expresia

$$\lambda^2 = \frac{(N_i - N_i')^2}{N_i'}$$

în care: N_i este numărul efectiv de observații din clasa i;

$N_i' = N p_i$ este numărul teoretic de elemente din clasa i, conform legii de distribuție avînd parametri egali cu cei ai distribuției empirice.

După ce se determină λ^2 se compară cu două valori limită λ_I^2 și λ_S^2, care se găsesc în tabele speciale [12].

Valorile limită ale lui λ^2 sînt date în tabel în funcție de numărul total al elementelor seriei N și de un *prag de probabilitate* s care se alege; acest prag are semnificația următoare: dacă λ^2 este mai mic decît λ_I^2 sau mai mare decît λ_S^2, există o probabilitate mai mică decît s ca legea de distribuție aleasă să corespundă fenomenului studiat, motiv pentru care se respinge ipoteza făcută.

c. MĂRIMEA UNUI SONDAJ

Fie o serie mare de valori, a cărei medie reală este m și abatere tip σ, valori necunoscute; se pune întrebarea: care este precizia cu care se poate determina m, făcînd media a numai n valori extrase la întîmplare din serie? Sau, cît trebuie să fie n pentru a obține media cu precizia dorită și un anumit nivel de încredere?

Să presupunem că din seria de valori facem o extracție de n valori. Media acestora va fi $\bar{x}$, în general diferit de m. Dacă repetăm de un număr mare de ori această operație, vom obține o serie de valori $\bar{x}_i$ în general diferite între ele. Se demonstrează, în virtutea teoriei centrale a calculului probabilităților, că distribuția acestei noi serii este normală, și are media egală cu m și abaterea-tip egală cu $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$.

În baza proprietății menționate în paragraful III.5, a (v. fig. III.7) rezultă că 95% din valorile $\bar{x}$ astfel calculate se găsesc în intervalul $\left[m-\frac{2\sigma}{\sqrt{n}},\ m+\frac{2\sigma}{\sqrt{n}}\right]$:

$$m-\frac{2\sigma}{\sqrt{n}}<\bar{x}<m+\frac{2\sigma}{\sqrt{n}}$$

de unde

$$\bar{x}+\frac{2\sigma}{\sqrt{n}}<m<\bar{x}-\frac{2\sigma}{\sqrt{n}}.$$

Rezultă că făcînd media $\bar{x}$ a unei selecții întîmplătoare de n valori din serie, în 95% din cazuri media reală m este aproximată prin $\bar{x}$ cu o precizie

$$s,\ \%=\frac{\frac{2\sigma}{\sqrt{n}}}{\bar{x}}\times 100=\frac{200\sigma}{\bar{x}\sqrt{n}}$$

de unde:

$$n=\left(\frac{200\sigma}{\bar{x}s}\right)^2.$$

Probabilitatea cu care se obține acest rezultat (în cazul de față probabilitatea este 95%) poartă denumirea de *grad de încredere*.

În practică se procedează astfel:

— se face un sondaj preliminar selecționîndu-se circa 30—50 valori;

— se calculează $\bar{x}$ și σ pentru aceste valori;

Scanned with OKEN Scanner

— se calculează numărul necesar de observații, n, în baza expresiei

$$n=\left(\frac{200\,\sigma}{\bar{x}s}\right)^2,\ (s\ \text{în}\ \%);$$

— dacă n astfel rezultat este mai mic decît numărul de observații făcute inițial, $\bar{x}$ și σ calculate rămîn definitive. În caz contrar se face un nou sondaj, de n valori, sau se complectează cel vechi și se reia întregul proces, pînă cînd se obține gradul de precizie dorit.

Exemplu. Pe baza unui sondaj de 100 valori extrase dintr-o colectivitate s-au determinat

$$\bar{x}=63;\ \sigma=210.$$

Se cere să se determine media întregii colectivități cu o precizie de 5% și un grad de încredere de 95%:

$$n=\left[\frac{200\times 63}{210\times 5}\right]^2=144.$$

Pentru atingerea preciziei dorite, sondajul trebuie complectat cu încă 44 observații

IV

OPTIMIZAREA DECIZIILOR. CERCETAREA OPERAȚIONALĂ

1. DEFINIȚIA ȘI CLASIFICAREA DECIZIILOR

Se numește *decizie* alegerea conștientă a unui mod de a acționa între mai multe moduri de acțiune posibile. Hotărîrea de a nu acționa este ea însăși o decizie.

Luarea deciziilor este funcțiunea principală a conducătorului oricărui organism economic, de la cel mai simplu pînă la cel mai complex.

Persoana sau colectivul însărcinat cu luarea deciziilor se numește *decidor* (sau *decidator*).

Luarea la întîmplare a unei hotărîri nu constituie un proces de decizie. Decizia care se ia trebuie să ducă la rezultatele cele mai bune, trebuie să fie optimă. Dar pentru a stabili care este decizia optimă trebuie să existe un criteriu de a aprecia în ce măsură un rezultat este bun sau nu.

Acesta este *criteriul de optimizare* care se alege în funcție de obiectivul întreprinderii.

În unele cazuri obiectivul este fixat din afara organismului economic respectiv. În economia socialistă obiectivele întreprinderii sînt fixate în general

Scanned with OKEN Scanner

de către forul tutelar, prin intermediul planului de stat (preț de cost, productivitate, termene, calitate). Există însă și cazuri în care întreprinderile (și în general orice organism economic) își pot fixa singure anumite obiective (de exemplu depășirea indicatorilor primiți prin planul de stat). Alegerea acestor obiective constituie de asemenea decizii, dar această categorie de decizii deși trebuie fundamentată prin calcule economice, nu se pretează la optimizarea riguroasă, deoarece pur și simplu nu există nici un criteriu obiectiv pentru compararea mai multor decizii posibile.

Astfel să presupunem că o întreprindere de construcții trebuie să-și stabilească criteriul după care să primească sau să respingă unele comenzi de lucrări extraplan. Ea poate de exemplu să hotărască să primească numai comenzile foarte avantajoase sub aspectul beneficiului sau numai pe cele foarte avantajoase sub aspectul productivității muncii. Nu se poate aprecia pe baza nici unui criteriu care din cele două criterii este mai bun.

Decizia de stabilire a criteriului se dă prin *apreciere* de către conducerea întreprinderii respective.

O situație des întîlnită este aceea în care conducerea unui organism trebuie să fixeze obiectivul pentru o celulă componentă a organismului. Teoretic, acest obiectiv ar trebui să rezulte prin calcule din obiectivele întregului organism. Uneori, însă, aceste calcule ar fi foarte laborioase și incerte, încît se preferă ca și obiectivul celulei componente să se stabilească prin apreciere. De exemplu: o întreprindere care are ca obiectiv principal realizarea unor beneficii maxime, trebuie să stabilească obiectivul serviciului care se ocupă cu elaborarea săptămînală a planului de transport a materialelor de masă de la depozite la șantiere. Obiectivul acestui serviciu poate fi unul din următoarele:

— minimizarea cheltuielilor de transport;
— minimizarea distanței totale parcurse de autocamioane;
— minimizarea duratei medii a unei curse.

Este evident că minimizarea distanței de transport este avantajoasă sub aspectul uzurii autovehiculelor și a pneurilor, al consumului de combustibil.

Minimizarea duratei de transport într-un oraș poate conduce la adoptarea unor rute mai lungi, dar mai libere, pe care se poate circula cu viteze sporite. Este evident că dacă întreprinderea are un deficit de autocamioane, deși obiectivul său central este beneficiul maxim, ea va putea adopta ca obiectiv la elaborarea planului de transport minimizarea duratei medii a unei curse, care poate conduce, cel puțin aparent, la cheltuieli de transport mai mari, dar care asigură o productivitate mai mare a parcului și prin aceasta contribuie la realizarea obiectivului general al întreprinderii.

Un alt caz tipic de decizie de stabilire a obiectivului este alegerea *intervalului de timp* luat în considerare pentru optimizare. Să considerăm de exemplu cazul foarte schematic, în care un decidor are de ales între două soluții posibile:

— *soluția A*, conduce în primul an la o pierdere de 10 000 lei, iar în al doilea an la un cîștig de 40 000 lei;

— *soluția B*, conduce atît în primul cît și în al doilea an la un cîștig de 10 000 lei/an.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă se alege ca interval de optimizare un an, este limpede că va trebui aleasă soluția *B*. Dacă intervalul ales este de 2 ani soluția *A* este cea mai avantajoasă.

Deciziile prin care se stabilește un obiectiv al organismului se numesc în mod convențional *decizii politice*.

O altă categorie de decizii, denumite *decizii strategice*, sînt cele care privesc: *structurarea organismului* și specializarea celulelor sale, *dezvoltarea* pe termen lung a organismului.

De exemplu: stabilirea serviciilor întreprinderii (sau șantierului) și a funcțiunilor lor, stabilirea numărului de unități subordonate și specializarea lor, stabilirea circuitelor informaționale, dezvoltarea bazei materiale, repartizarea fondurilor de investiții și optimizarea folosirii acestor fonduri, înființarea și dezvoltarea școlilor și cursurilor pentru pregătirea muncitorilor și celorlalte categorii de salariați.

Deciziile tactice sînt cele care urmăresc folosirea optimă a resurselor disponibile în diferite intervale de timp, relativ limitate. Sînt deciziile care trebuie luate în general în resortul „producției" al întreprinderii.

2. CERCETAREA OPERAȚIONALĂ

Cercetarea operațională poate fi considerată ca fiind *știința pregătirii deciziilor*. Această definiție este destul de vagă, dar în prezent cercetarea operațională fiind o știință modernă, în plină cristalizare, nu a primit încă din partea specialiștilor o definiție mai precisă „de teama de a nu exclude din sfera ei ceva ce ar putea deveni interesant".

Într-un studiu de P. Pacaud [13], autorul descrie astfel cercetarea operațională și scopul ei:

„La nivelul actual al evoluției ei, cercetarea operațională trebuie considerată ca o metodă științifică de analiză logică și cantitativă a proceselor care se desfășoară în organisme considerate în întregimea lor și în strînsă interdependență cu mediul lor înconjurător.

„În mare, ea este alcătuită dintr-un *cadru*, din *tehnici de calcul* și din *instrumente* de calcul. Cadrul este format dintr-o anumită *concepție* și o *metodologie* generală. În acest cadru se utilizează *tehnici științifice* numeroase și variate, cu ajutorul *instrumentelor* care sînt în general matematice.

„Scopul ei este de a furniza conducătorilor întreprinderii un mijloc de a alege deciziile pe care trebuie să le ia în vederea funcționării normale a întreprinderilor, sprijinindu-și alegerea pe evaluarea cantitativă a consecințelor probabile ale fiecărei opțiuni în parte."

Aplicarea mecanică a tehnicilor cercetării operaționale, de exemplu a programării liniare sau a metodei drumului critic, nu constituie în sine o cercetare operațională. Cercetarea operațională necesită în primul rînd o anumită concepție, o anumită atitudine, o anumită stare de spirit în abordarea problemei.

Este vorba de atitudinea de rigurozitate științifică, de abordare a problemei în spiritul metodei științifice, despre care s-a amintit în cursul prezentei lucrări.

Scanned with OKEN Scanner

3. METODOLOGIA CERCETĂRII OPERAȚIONALE

Metodologia generală a cercetării operaționale cuprinde patru faze principale.

Faza I. Punerea și formularea problemei. Punerea problemei este făcută în general de conducătorul organismului.

Acesta este cel care își dă seama că anumite rezultate ale organismului pe care îl conduce nu sînt mulțumitoare, sau că ar putea fi mult mai bune.

Formularea problemei presupune:

— stabilirea obiectivelor;
— specificarea criteriului de optimizare;
— specificarea constrîngerilor (restricțiilor).

Exemplu. Pentru elaborarea unui plan de transport al materialelor de la depozite la șantiere obiectivul poate fi după cum s-a mai arătat: cheltuieli minime, consum minim de carburant, durată medie minimă pe cursă etc. Uneori, obiectivul poate urmări *maximizarea* unor valori: productivitate, producție, beneficii etc.

Restricțiile acestei probleme sînt exprimate prin cantitățile de materiale disponibile la fiecare depozit și cantitățile de materiale necesare fiecărui șantier.

Este important de reținut că o anumită problemă *nu poate avea simultan mai multe criterii de optimizare.* Nu se poate maximiza volumul producției și minimiza în același timp volumul investițiilor. Se poate însă minimiza volumul de investiții pentru un plan de producție dat, sau maximiza volumul producției pentru un volum de investiții dat. Așadar, fie volumul producției, fie volumul investițiilor, trebuie luate în considerare ca limite, deci sub formă de restricții.

Există însă și posibilitatea ca în cazurile în care se urmăresc mai multe obiective, acestea să fie ierarhizate și să li se atribuie *indici de importanță* sau *coeficienți de transformare,* cu ajutorul cărora să se calculeze un singur indicator complex, a cărui optimizare să fie urmărită. Așa de exemplu, pentru a compara mai multe variante de proiect care conduc la consumuri diferite de oțel, cherestea, manoperă și la costuri diferite de investiții și exploatare, se pot stabili coeficienți de transformare care să ne permită aprecierea proiectelor din punctul de vedere al unui singur indicator care ține seama de toți factorii urmăriți. Stabilirea coeficienților de transformare este studiată de *teoria deciziei* și *teoria valorii.*

Faza II. Construirea modelului. Această fază cade în seama specialistului de cercetare operațională, care trebuie însă să aibă concursul nelimitat al conducerii organismului și al tuturor salariaților.

Această fază cuprinde mai multe etape și anume:

— releveul legăturilor informaționale;
— depistarea tuturor factorilor, variabilelor, parametrilor, care intervin în această problemă;
— analizarea posibilităților de măsurare a acestor parametri;
— recenzarea datelor statistice existente privind acești parametri;
— alegerea variabilelor fundamentale;
— construirea modelului.

1) Modul în care se face releveul circuitelor informaționale, precum și importanța acestui releveu au fost tratate în cap. II. Așa de exemplu în cazul în care se pune problema optimizării planului de transport, analistul trebuie să stabilească felul în care persoana care întocmește planul primește datele privind disponibilul de materiale în depozite și necesarul întreprinderilor; la ce

Scanned with OKEN Scanner

intervale se primesc astfel de date; cum se comunică apoi planul întocmit la depozite și șantiere; cum se transmit apoi informațiile privind modificarea datelor inițiale pe parcursul execuției planului (modificarea disponibilului la depozite și a necesarului la șantiere); cum se fac și se transmit modificările de plan; cum se poate proceda eventual pentru a repartiza materialele la depozite într-un mod cît mai avantajos în vederea optimizării nu numai a transportului depozit-șantier, ci și a transportului total furnizor-depozit-șantier; în acest sens, trebuie stabilit cum se transmit furnizorilor informațiile privind cantitățile care trebuie trimise la diferite depozite; cu cît timp înainte trebuie trimise aceste informații pentru ca ele să fie operante, la cine se transmit informațiile privitoare la îndeplinirea planului de transport în vederea controlului etc.

Toate aceste informații vor fi obținute cu ocazia elaborării schemei relațiilor informaționale.

2) În etapa următoare se depistează toți factorii care pot interveni în această problemă. Astfel, în problema planului de transport se poate constata că intervin:

a) distanțele de transport;
b) costurile de transport între diferite puncte;
c) duratele de transport;
d) starea drumurilor și influențarea lor de condițiile meteorologice;
e) starea tehnică a parcului și defecțiunile tehnice care pot interveni;
f) lipsurile și întîrzierile șoferilor;
g) cantitățile existente în depozit la începutul perioadei;
h) cantitățile care urmează să fie primite în depozit de la furnizori;
i) defecțiunile în aprovizionare de la furnizor la depozit;
j) stocul existent la șantier la începutul perioadei;
k) consumul prezumat;
l) variațiile consumului real față de consumul prezumat în plus sau în minus și pericolul ruperii stocului la șantier; influența condițiilor meteorologice asupra acestui consum;
m) pierderile la șantier prin stagnarea muncitorilor și utilajelor ca urmare a rupturii de stoc;
n) simultaneitatea prezentării autocamioanelor pentru încărcare la depozit, sau pentru descărcare la șantier.

3) În etapa următoare se face analiza posibilităților de măsurare a factorilor analizați în etapa a doua. Numai prin măsurare informația poate avea caracterul de obiectivitate necesar, numai astfel este posibilă compararea a două situații și numai astfel informația poate fi supusă în continuare prelucrării matematice. Factorii a, b, c, g, h, j, k sînt cantități fizice care pot fi ușor măsurate. Celelalte cantități se pot măsura prin distribuții de probabilități. De exemplu, pentru factorul i se poate determina distribuția probabilității de a primi de la furnizor cantitatea αx în cazul în care comanda lansată este x.

Un factor mai dificil de evaluat cantitativ este factorul d: starea drumurilor. Pentru acest factor va trebui inventat un mijloc de măsurare.

În general mai greu de măsurat cantitativ sînt factorii cu caracter psihologic, de exemplu: priceperea oamenilor, calitatea muncii prestate de unele categorii de salariați tehnico-administrativi, satisfacția salariaților, calitatea condi-

Scanned with OKEN Scanner

țiilor de muncă, efortul și oboseala muncitorilor etc. Științele moderne permit însă măsurarea unui număr tot mai mare de astfel de factori. Astfel, *psihotehnia* permite măsurarea anumitor caracteristici psihice ca: perspicacitatea, capacitatea de încordare a atenției, rapiditatea reflexelor, capacitatea de memorare, spiritul de observație etc. *Ergonomia* (*ergometria*) se ocupă de descrierea și măsurarea unor relații între condițiile de muncă (temperatură, umiditate, luminozitate, nivel sonor, culorile înconjurătoare, poziția muncitorului, durata muncii și a întreruperilor, continuitatea în muncă), efort, oboseală, și randament (rezultatele muncii).

Sociologia și *sociometria* se ocupă de studiul aspirațiilor, al conștiinței, al comportării, al cauzelor de mulțumire și nemulțumire a oamenilor.

4) În etapa a patra trebuie făcută o recenzare a informațiilor de care dispune întreprinderea asupra factorilor enumerați. Asupra unora întreprinderea poate dispune de date care nu necesită nici o prelucrare, cum sînt distanțele de transport. Asupra altora întreprinderea dispune în arhiva sa de date care trebuie prelucrate pentru a putea fi puse într-o formă utilizabilă.

Această prelucrare este în general de natură statistică, iar rezultatele se prezintă sub formă de distribuții de probabilități.

În sfîrșit, asupra altor factori se constată că întreprinderea nu dispune de informații sau dispune de informații disparate sau nesigure.

5) În etapa a cincea se face alegerea factorilor care vor fi luați în considerare în continuare. La baza acestei alegeri va sta în primul rînd criteriul importanței factorilor și în al doilea rînd acela al disponibilității informațiilor statistice necesare sau al dificultății culegerii lor.

Se vor neglija deci în continuare, în vederea simplificării problemei, factorii considerați ca neesențiali.

6) În sfîrșit, se construiește *modelul* problemei.

Modelele pot fi: matematice sau analogice.

Modelul matematic al unui fenomen este un ansamblu de ecuații și distribuții de probabilități, astfel alcătuit, încît înlocuind coeficienții și variabilele cu valori măsurate asupra oricărei desfășurări reale a fenomenului, toate relațiile sînt verificate.

Modelul constituie o reprezentare *simplificată* și *generală* a fenomenului.

În cazul cel mai general, modelul matematic al unei probleme de cercetare operațională se compune din:

— o serie de *ecuații* (*sau inecuații*) *de condiție*, care modelează restricțiile (constrîngerile) problemei; de exemplu, într-o problemă de transport, dacă X_{ij} este cantitatea de material, necunoscută pentru moment, care trebuie dusă de la depozitul i la șantierul j, și dacă șantierul 3 de exemplu are nevoie de 100 de unități din materialul respectiv, această condiție se pune sub forma:

$$X_{13}+X_{23}+X_{33}\cdots+X_{n3}=100$$

unde n este numărul total de depozite;

— o *funcție* care dă valoare variabilei ce trebuie optimizată, în baza criteriului de optimizare ales. Aceasta se numește *funcția economică* a modelului.

Pentru problema transportului, dacă C_{ij} este costul transportului de la i la șantierul j, expresia costului total, și deci funcția economică în cazul în care criteriul de optimizare este costul, are forma:

$$E=X_{11}C_{11}+X_{12}C_{12}+\cdots+X_{1m}C_{1m}+X_{21}C_{21}+X_{22}C_{22}+\cdots+X_{n1}C_{n1}+\cdots X_{nm}C_{nm}.$$

Modelele analogice reprezintă fenomenul organizatoric prin analogie cu fenomene fizice. Se pot imagina modele mecanice, electrice, hidraulice.

Cercetarea operațională a elaborat pînă în prezent un mare număr de *modele tip* matematice, aplicabile fiecare într-un număr mare de situații similare.

Totuși, în practică, folosirea independentă a modelelor-tip existente nu constituie decît o rezolvare parțială a problemei. Așa de exemplu în problema analizată pentru exemplificare în paragrafele precedente, s-a văzut că pornind de la ideea optimizării transportului, pentru care există elaborat un model numit „modelul problemei de transport" (sau de repartiție) se constată că această problemă se împletește strîns cu problema stocurilor de la depozit și de la șantier (și de fapt și de la furnizor), pentru care există elaborate o serie de modele tip de stocuri, cu problema determinării necesarului de materiale la șantier, pentru care sînt elaborate modele de ordonanțare, cu problema formării de cozi la încărcarea, descărcarea sau repararea autocamioanelor, care fac obiectul unor modele ale fenomenelor de așteptare.

Așadar, chiar pentru situațiile în care există gata elaborate modele tip, pentru diferitele aspecte separate ale fenomenului studiat, în practică se pune problema de cele mai multe ori a elaborării unui model mai complex, care să îmbine modelele tip corespunzătoare, sau uneori de a construi un model cu totul nou.

Faza III. Măsurare, prelucrare, reprezentarea rezultatelor. După ce a fost elaborat modelul, trebuie efectuate observațiile și măsurările pentru determinarea constantelor și variabilelor care trebuie introduse în model, pentru care nu au fost găsite date în arhivă.

O categorie importantă de astfel de observații sînt în general *cronometrările*. Se menționează numai în treacăt că în ultimii ani tehnica cronometrării a făcut progrese importante. Figura IV.1 reprezintă o planșetă de cronometraj care permite raționalizarea muncii de cronometrare și atingerea unei înalte fidelități.

Urmează prelucrarea statistică a rezultatelor obținute din observații și a datelor existente în arhivă, prin metodele analizate în cap III, și care se concretizează prin prelucrarea grafică a seriilor de frecvență și apoi prin ajustarea unei legi statistice.

Faza IV. Verificarea practică a modelului. Aplicarea practică curentă a modelului trebuie precedată în mod obligatoriu de o fază de verificare practică foarte minuțioasă și atent urmărită de analiștii care au elaborat modelul.

1) Modelul se probează prin introducerea în sistemul de ecuații a unor parametrii reali ai fenomenului la un moment dat, apoi se compară rezultatul modelului cu rezultatul real.

Scanned with OKEN Scanner

2) În cazul în care proba precedentă dă un rezultat nesatisfăcător, modelul trebuie reanalizat, în vederea perfecționării lui (ajustarea modelului).

În cadrul acestei analize se urmărește:

a) dacă în etapa a doua a fazei II nu au fost omiși anumiți parametri;

b) dacă în etapa a cincea a fazei II nu au fost eliminate unele variabile esențiale;

c) dacă pentru variabilele reținute nu au fost luate în considerare anumite proprietăți care au fost infirmate de studiul statistic din faza III;

d) dacă relațiile dintre variabile au fost just apreciate;

e) dacă raționamentele matematice au fost corecte.

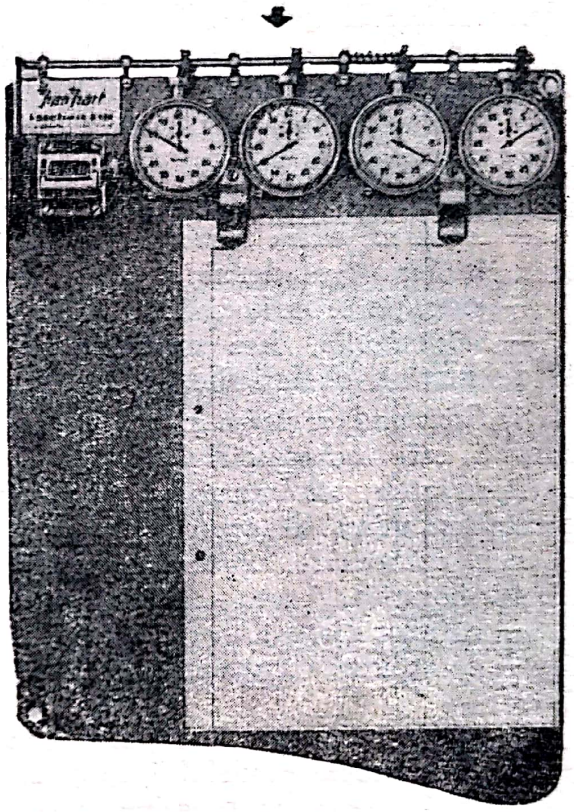


Fig. IV.1

3) După ce modelul este bine pus la punct, poate fi folosit pentru optimizare, adică pentru calcule în diferite cazuri particulare.

4) În unele cazuri varianta rezultată din calculul de optimizare este optimă din punctul de vedere al criteriului ales și se încadrează în condițiile impuse de parametrii luați în considerație, dar poate fi foarte nefavorabilă din punctul de vedere al unui parametru, care pentru simplificare a fost eliminat din model.

Așa de exemplu, s-ar putea ca la planificarea transporturilor să se neglijeze aspectul stocurilor. În acest caz s-ar putea ca soluția optimă să conducă la formarea, într-o anumită perioadă, a unor stocuri exagerate la unul din depozite.

Din acest motiv este recomandabil de cele mai multe ori ca la dispoziția conducerii să fie pusă nu numai soluția optimă ci și o serie de soluții apropiate de optim. Toate aceste soluții se înscriu într-un tabel, împreună cu rezultatele probabile (avantaje, dezavantaje) la care conduc. Acest tabel este *tabelul de opțiuni*.

Cu aceasta se încheie ciclul de elaborare a modelului de către specialiștii în cercetare operațională.

Începe *aplicarea practică* a modelului care comportă:

1) *Luarea deciziei* de către decidator, pe baza tabelului de opțiuni prezentat, și emiterea ordinului de pregătire a punerii în aplicare.

2) *Pregătirea punerii* în aplicare a deciziei, care în cazurile cele mai complexe comportă:

Scanned with OKEN Scanner

— analizarea logică a operațiilor care trebuie executate pentru îndeplinirea deciziei și a succesiunii acestor operații; stabilirea responsabililor operațiilor;
— planificarea în timp a operațiilor (ordonanțarea);
— elaborarea unor documente-ordin detaliate care urmează să fie transmise responsabililor de operații.

Activitatea de pregătire trebuie dusă de un organ special al întreprinderii, care nu are un corespondent exact în structura actuală a întreprinderilor noastre și care în alte țări poartă denumirea de „Serviciul metodelor".

3) *Execuția.* Începe la data stabilită tot de decidator.

Această fază comportă:
— *lansarea*, adică transmiterea la executant a documentelor-ordin elaborate în faza precedentă;
— *execuția* propriu-zisă;
— *măsurătorile*, care urmăresc patru efecte: calitatea, termenele, cantitățile de lucrări, cheltuielile.

4) *Controlul, reglarea și interpretarea rezultatelor* sînt activități de mare importanță, care încheie ciclul.

Rezultatele măsurătorilor sînt comparate cu previziunile, operație care poartă denumirea de *control.*

Prin comparare, organul de control determină *abaterile*, care pot fi pozitive sau negative. Analiza cauzelor acestor abateri poate scoate la iveală:
— că execuția este necorespunzătoare și se iau măsuri de remediere;
— că aplicarea modelului de către serviciul metodelor nu a fost corespunzător;
— că anumite condiții reale nu corespund modelului, fie pentru că s-a greșit la elaborarea modelului, fie pentru că între timp aceste condiții s-au mai schimbat; în acest caz intervine din nou analistul care reia de la început ciclul metodologic al cercetării operaționale, ciclu care se încheie cu un nou tabel de opțiuni, în baza căruia se va declanșa o nouă decizie etc.

Se regăsește deci principiul cibernetic analizat în cap. II, conform căruia funcționarea organismului presupune desfășurarea neîntreruptă a ciclului: ordin-execuție-măsurare-control-retroacțiune (feed-back)-execuție etc.

* * *

În cele de mai înainte s-a expus o schemă foarte generală a modului în care se pune, se rezolvă și se aplică o problemă de decizie. Evident, în practică pot apărea și situații particulare pentru care metodologia este mai complexă, sau dimpotrivă, mult mai simplă.

4. ASPECTELE GENERALE ALE PROBLEMELOR DE CERCETARE OPERAȚIONALĂ

Problemele care se pun se pot găsi în general într-unul din următoarele patru cazuri:

1) Mărimile care intervin în calcule sînt considerate bine cunoscute și sînt tratate ca fiind *determinate.*

Scanned with OKEN Scanner

Spunem că sîntem în prezența unui univers sau orizont determinat.

Modelele folosite în aceste situații sînt *deterministe* (de exemplu modelele programării liniare).

2) Mărimile care intervin în calcule au un caracter întîmplător, pentru care se pot determina totuși, prin studii statistice asupra trecutului, distribuții de probabilități. Uneori distribuțiile probabilistice variază în timp după anumite legi; variabilele respective se numesc în acest caz *stochastice.*

Spunem că sîntem în prezența unui univers sau orizont aleator, în care domnește întîmplarea, dar a cărei acțiune este totuși previzibilă prin analiză statistică și probabilistică.

Modelele corespunzătoare se numesc *modele probabilistice* sau *aleatoare* (de exemplu modele ce intervin în teoria stocurilor), și *modele stochastice* (folosite în programarea stochastică).

3) În unele cazuri condițiile din mediul înconjurător pot fi modificate prin acțiunea unei ființe inteligente.

Spunem că sîntem în prezența unui competitor inteligent.

Modelele elaborate pentru această situație sînt cele ale *teoriei jocurilor.*

4) O parte din parametrii care intervin în desfășurarea fenomenului sînt necunoscuți ca mărime și probabilități.

Spunem că sîntem în prezența unui univers necunoscut sau incert.

Și în acest caz se pot aplica principiile teoriei jocurilor, considerînd că avem de-a face cu un adversar căruia nu îi cunoaștem scopul și regulile de joc. Acest adversar este *natura.*

5. PRINCIPALELE TEORII ȘI TEHNICI FOLOSITE ÎN CERCETAREA OPERAȚIONALĂ

1) *Teorii sau tehnici matematice:*
   a) teoria deciziei;
   b) informatica;
   c) teoria programării:
   — ordonanțarea;
   — programarea liniară;
   — programarea neliniară (pătratică, hiperbolică);
   — programarea parametrică;
   — programarea stochastică;
   — programarea dinamică;
   d) teoria fenomenelor de așteptare:
   — teoria stocurilor;
   — teoria cozilor (firele de așteptare);
   e) teoria jocurilor;
   f) teoria uzurii, întreținerii și înlocuirii utilajelor.
2) *Tehnici experimentale*
   a) tehnica simulării;
   b) modelele analogice.

Scanned with OKEN Scanner

Părțile a doua și a treia a prezentei lucrări sînt dedicate descrierii detaliate a celor mai importante dintre tehnicile enumerate. Este important de relevat de pe acum că deși denumirile unora din aceste tehnici sînt legate de anumite aplicații particulare („stocuri", „uzura utilajelor"), ele sînt aplicabile și pentru fenomene de natură cu totul diferită.

6. INSTRUMENTELE CERCETĂRII OPERAȚIONALE

Instrumentele cercetării operaționale pot fi clasificate după cum urmează:

1) *Instrumente matematice*, din care:
   a) instrumente clasice:
      — analiză matematică;
      — calculul diferențial și integral;
      — calculul probabilităților;

Tabelul IV.1

Tehnici / Instrumente	Teoria deciziei	Informatica	Teoria programării	Teoria așteptării	Teoria jocurilor	Simularea	Tehnici analogice
Tehnici deterministe	*	*	*	*	*	*	*
Tehnici probabiliste		*	*				
Tehnici matematice	*		*	*	*		
Tehnici experimentale		*				*	*
Instrumente matematice:							
Clasice							
Analiza matematică	*		*	*	*		
Calculul integral și diferențial		*	*	*			
Calculul probabilităților	*		*	*	*		*
Analiza statistică	*	*		*	*	*	*
Calculul aritmetic manual	*	*	*				
Moderne							
Calculul matricial			*		*		
Teoria mulțimilor	*	*	*	*	*		
Logica matematică					*		
Teoria grafurilor			*				
Teoria poliedrelor			*				
Teoria proceselor stochastice			*	*			
Alte instrumente							
Calculatoare electronice	*	*	*	*	*	*	*
Nomografie	*		*				
Tabele de numere întîmplătoare				*		*	
Tehnologii diverse							*
Științe diverse	*	*	*	*	*	*	*

— analiza statistică;
— calculul aritmetic manual;

b) instrumente moderne:
— calculul matricial și vectorial;
— teoria mulțimilor;
— logica matematică;
— teoria grafurilor;
— topologie;
— teoria proceselor stochastice.

2) *Alte instrumente:*
— calculatoarele electronice;
— nomografia (abace);
— tabele de numere întîmplătoare;
— tehnologii diverse;
— științe diverse.

Tabelul IV.1, reprodus din lucrarea amintită a lui P. Pacaud, dă o imagine de ansamblu asupra instrumentelor folosite în cadrul diferitelor tehnici.

Scanned with OKEN Scanner

PARTEA A DOUA

Probleme de ordonanțare

Scanned with OKEN Scanner

V

ASPECTUL GENERAL AL UNEI PROBLEME DE ORDONANŢARE

Procesul de producţie în construcţii, ca de altfel marea majoritate a activităţilor umane, nu are un caracter continuu, omogen.

El se compune practic dintr-un număr mai mic sau mai mare de acţiuni distincte, efectuate de diferite grupuri de oameni şi utilaje.

A coordona aceste grupuri de oameni şi utilaje astfel încît ele să intervină în momentul potrivit pe fiecare front de lucru, aceasta este principala sarcină a conducerii procesului de construcţii.

În esenţă, această coordonare constă în primul rînd din emiterea pentru fiecare acţiune a unui *ordin de începere* (verbal sau scris) şi în al doilea rînd din *controlarea terminării* în bune condiţii a respectivelor acţiuni.

Pentru a se putea emite ordinul de începere este necesar ca în prealabil să fie stabilit momentul în care este posibilă şi necesară începerea acţiunii respectiv momentul în care vor fi create toate *condiţiile* care să permită desfăşurarea normală a acţiunii. Pe de altă parte, *controlul terminării* presupune cunoaşterea datei la care acţiunea trebuie terminată, pentru a nu se stingheri desfăşurarea normală în continuare a procesului de construcţie şi pentru a nu se periclita termenul final.

Deci, pentru a face posibilă coordonarea, este necesar să se stabilească în prealabil datele de începere şi terminare ale tuturor acţiunilor componente, astfel încît activitatea în ansamblu să satisfacă condiţiilor impuse, privitoare la durata totală, cost, productivitate şi calitate. Ansamblul tuturor datelor de începere şi terminare a acţiunilor formează *programul* sau *planul calendaristic de eşalonare a lucrărilor*. Stabilirea acestui program constituie *obiectul ordonanţării**.

Forma de reprezentare cea mai uzuală a planului calendaristic este *graficul calendaristic* cu bare (fig. V.1) cunoscut şi sub denumirea de *grafic Gantt*. *Ciclograma* este o altă formă de prezentare a graficului calendaristic (fig. V.2).

---

* În cadrul acestei lucrări se va folosi termenul de „*ordonanţare*" în înţelesul de „planificare calendaristică a acţiunilor".

Este evident faptul că pentru una și aceeași lucrare se pot alcătui un mare număr de variante de grafice calendaristice și că nu toate pot fi la fel de bune sub aspectul încadrării în termen, al folosirii economice a resurselor etc.

Teoria ordonanțării se ocupă de crearea unor metode de studiu și de calcul care să permită elaborarea unor programe cît mai bune, cu un consum minim de muncă de concepție și de calcul.

Nr. crt.	Lucrarea	Săptămîna 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Săpături										
2	Fundații										
3	Zidării										
4	Șarpantă										
5	Învelitoare										
6	Tencuieli										
7	Tîmplărie										
8	Spoieli										
9	Instalații electrice										

Fig. V.1

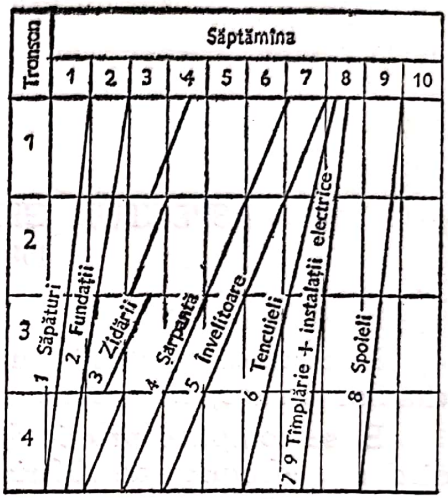


Fig. V.2

Teoria ordonanțării nu se ocupă de conținutul concret al activității care trebuie programată; ea are un caracter general, fiind aplicabilă în orice domeniu de activitate. Pentru aceasta, după cum se va vedea, ordonanțarea se ocupă cu descoperirea și folosirea anumitor proprietăți formale ale proceselor de producție.

Este adevărat că nu toate procesele de producție au aceleași proprietăți formale. De exemplu, din punct de vedere al repetitivității, procesele de producție se pot împărți în:

— producție unicală sau după deviz;
— producție de serie sau de catalog;
— producție de masă.

Teoria ordonanțării creează metode corespunzătoare fiecărui tip de proces în parte; de exemplu, pentru producția de serie este creată metoda „în bandă" sau „în flux continuu" adaptată pentru construcții sub forma metodei „în lanț".

În limbajul uzual din domeniul construcțiilor, prin *proiect* se înțelege documentația tehnică și economică, care constituie în fond o descriere *statică* a viitoarei construcții, așa cum va trebui să arate, conform concepției proiectantului și aprobării forurilor în drept.

În cursul acestei lucrări se va folosi termenul de *proiect* cu un înțeles mai larg: *prin proiect se va înțelege ansamblul acțiunilor prevăzute a fi întreprinse pentru realizarea unui anumit obiectiv*, fie că acesta este sau nu o investiție.

Așa de exemplu, se consideră că acțiunea „introducerea cofrajelor spațiale pentru execuția locuințelor la întreprinderea X", constituie un proiect care tre-

buie să prevadă ca acțiuni: documentarea, schimburi de experiență, studii, proiectarea clădirii și a cofrajului, execuția cofrajului, experimentarea, trecerea la generalizare.

În cazul unei investiții se înțelege prin *proiect* nu numai documentația tehnică și economică, pentru care se va folosi în general termenul de *proiect tehnic*, ci și ansamblul tuturor acțiunilor pe care le comportă atît elaborarea proiectului tehnic cît și execuția lui: elaborarea temei, a studiului tehnico-economic, a proiectului de ansamblu, a proiectului de execuție, fazele de avizare și aprobare, demolările, organizarea șantierului, aprovizionarea cu materiale și prefabricate, execuția propriu-zisă a obiectului, procurarea și montarea utilajelor tehnologice etc. Unele din aceste acțiuni nu sînt prevăzute în mod explicit în proiectele tehnice, deoarece, fie că sînt legiferate, fie că fac parte din tehnologia sau practica uzuală, ele sînt considerate cunoscute.

În rezumat, față de folosirea obișnuită, noțiunea de *proiect* va căpăta în cursul prezentei lucrări un sens mai larg: proiectul nu este numai o descriere *statică* a obiectului final, ci o descriere *dinamică* a acțiunii de realizare a obiectului. Obiectul nu trebuie să fie neapărat o investiție.

Pentru a fi programat, proiectul trebuie descompus în acțiuni sau grupe de acțiuni, care se denumesc *activități*.

Gradul de detaliere a activităților este în funcție de nivelul la care va fi folosit programul elaborat: pentru graficul de coordonare a întregii investiții care va fi urmărit de beneficiar, execuția unui obiect va putea fi descompusă în 10—20 activități; pentru graficul de execuție al obiectului, care va fi urmărit de șeful de lot, descompunerea se va putea face în cîteva sute și uneori mii de activități.

Activitatea este acea parte componentă a unui proiect pentru care, la nivelul de conducere care va folosi graficul, este necesar să se cunoască termenul de începere și cel de terminare, în vederea emiterii ordinului de începere și a controlului terminării.

Orice activitate se caracterizează în general prin:
— natura ei;
— sectorul în care se desfășoară;
— volumul sau cantitatea de lucru.

Acestea determină la rîndul lor:
— condițiile de începere;
— durata minimă;
— felul și cantitatea resurselor (materiale, manoperă, utilaj, energie, fonduri bănești etc.;
— o relație între *durată* și *debitul* posibil al resurselor.

Așa de exemplu, în cazul activității „turnarea betonului în structura de rezistență la etajul 3 al pavilionului administrativ", *felul* activității este „turnare beton", *sectorul* este „pavilionul administrativ etaj 3", *volumul de lucru*, conform proiectului, de exemplu: 120 m³. Aceste caracteristici le definesc pe următoarele:

— *condiții de începere*: este necesară terminarea în prealabil a activității „armare planșeu etaj 3 la pavilionul administrativ";

— *durata minimă*: 1 zi;
— *felul și cantitățile de resurse*:
beton gata preparat, 120 m^3;
autobasculantă pentru transport beton, 20 h;
macara turn, 1 zi;
betoniști, 100 h.

Data de începere a unei activități este evident mai mare sau cel puțin egală cu data realizării condițiilor de începere, respectiv cu data terminării activităților a căror terminare condiționează începerea activității respective. În exemplul de mai înainte, dacă activitatea „armare planșeu" se termină la 25 iulie, este evident că turnarea nu va putea începe decît după această dată, respectiv la 26 iulie, sau eventual mai tîrziu.

Data terminării este în funcție de data începerii și de durata minimă. În exemplul dat, dacă turnarea betonului începe la 26 iulie dimineața, frontul de lucru va deveni disponibil pentru altă lucrare cel mai devreme în dimineața zilei de 27 iulie.

Dar durata efectivă nu poate fi întotdeauna egală cu durata minimă, ea fiind în funcție de cantitatea de resurse de care se poate dispune pe unitatea de timp. Revenind la exemplul de mai înainte, dacă stația de betoane nu poate livra pentru punctul de lucru „Pavilionul administrativ" decît 60 m^3 beton pe zi, durata activității va fi 120 m^3 : 60 m^3/zi = 2 zile.

Deci data terminării este în funcție și de cantitatea de resurse disponibile în unitatea de timp. Dar acestea la rîndul lor sînt funcție pe de o parte de disponibilitățile totale, pe de altă parte de consumurile altor activități care se desfășoară în același interval de timp. Acestea însă nu sînt cunoscute în întregime deoarece în momentul programării unei activități nu toate celelalte activități sînt deja programate. Există deci un cerc vicios, care, în practica tradițională, se rezolvă de cele mai multe ori „văzînd și făcînd".

Nu poate încăpea îndoială că dacă s-ar putea ieși de la bun început din acest cerc vicios și s-ar elabora un program bine corelat cu disponibilitățile resurselor, acest program poate fi făcut incomparabil mai rațional decît cel rezultat în mod spontan în practică pornind de la un plan calendaristic foarte aproximativ, corectat mereu pe parcurs, în condițiile în care întreaga activitate de producție este planificată, la drept vorbind de la o zi la alta, prin „măsuri operative" tîrzii și pripite, a căror efecte pozitive sînt în mod inerent foarte limitate, dar în schimb, a căror efecte negative nu pot fi prevăzute niciodată suficient de bine.

Teoria ordonanțării oferă soluții pentru a putea ieși din cercul vicios.

Rezolvarea unei probleme atît de complexe nu se poate face însă dintr-o dată, în toată complexitatea ei, ci procedînd la o analiză în etape.

Principalele etape ale analizei, pornind de la elementele care caracterizează activitățile, sînt următoarele:

I. analiza proiectului și stabilirea activităților;

II. analiza condițiilor de începere a activităților, care conduce la elaborarea unei scheme indicînd ordinea logică a efectuării operațiilor;

Scanned with OKEN Scanner

III. analiza duratelor activităţilor, în urma căreia, pe baza schemei elaborate în etapa I, se pot determina termenele de începere şi terminare. În această etapă nu se iau în general în considerare, limitări de resurse pe ansamblul proiectului;

IV. analiza resurselor necesare şi modificarea programului elaborat în faza a III-a în vederea uniformizării curbelor de manoperă şi de încărcare a utilajelor şi a încadrării în debitele disponibile pentru toate resursele.

Ceea ce caracterizează metodele moderne de ordonanţare este tocmai această etapizare foarte netă a rezolvării problemei şi care este posibilă tocmai datorită schemei care se elaborează în etapa a II-a, schemă care poartă denumirea de *graf* sau *reţea*.

Din aceste motive, această tehnică de planificare este cunoscută şi sub titlul de „planificare în reţea". Primele trei etape, în cadrul cărora nu se ia în considerare probelma resurselor, formează obiectul metodei drumului critic, cunoscută şi sub iniţiale CPM (Critical Path Method) şi PERT (Program Evaluation and Review Technique). În limbaj matematic aceste trei etape poartă denumirea *problema centrală a ordonanţării.*

În cele ce urmează, înainte de a intra în tratarea sistematică a problemelor şi metodelor ordonanţării, se dă un exemplu foarte simplu care să permită cititorului să îşi formeze rapid o ideie generală privind aceste probleme.

Exemplu. Ne propunem să elaborăm planul calendaristic al realizării unei împrejmuiri din elemente prefabricate de beton armat. Împrejmuirea se realizează din stîlpii prefabricaţi 1, fixaţi în cîte o fundaţie de beton simplu 3. Între stîlpi se montează plăcile 2 (fig. V.3).

Realizarea împrejmuirii presupune executarea următoarelor activităţi:

1. Proiectare şi formalităţi de aprobare.
2. Comandarea şi contractarea prefabricatelor la un atelier specializat.
3. Trasarea.
4. Săparea gropilor pentru fundaţiile stîlpilor.
5. Executarea prefabricatelor în atelier şi transportul lor pe şantier.
6. Aprovizionarea pe şantier a agregatelor şi a cimentului pentru betoane de fundaţii.
7. Montarea stîlpilor.
8. Montarea plăcilor.

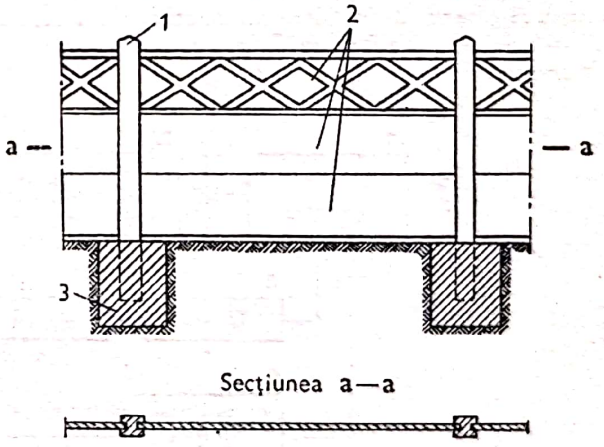


Fig. V.3

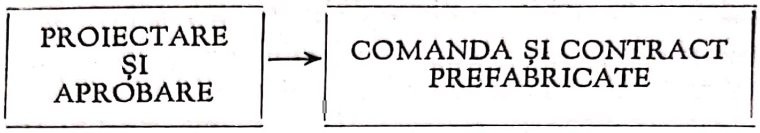
Fiind vorba de cantităţi mici, betonul urmează să se amestece manual.

Pentru a întocmi schema succesiunii activităţilor, se face convenţia de a reprezenta fiecare activitate printr-un dreptunghi, în interiorul căruia se scrie denumirea activităţii, ca de exemplu:

PROIECTARE ŞI APROBARE

Aceste dreptunghiuri vor purta denumirea de *noduri ale grafului.*

Prin convenție, pentru a indica succesiunea activităților, între două activități care se succed se trasează o săgeată avînd extremitatea inițială la activitatea care trebuie executată înainte și vîrful la activitatea care nu poate fi începută decît după terminarea celei dintîi. În exemplul dat, comandarea și contractarea execuției prefabricatelor nu se poate efectua decît după aprobarea proiectului. Acest lucru se indică astfel:



Această convenție de reprezentare grafică constituie elementul fundamental al metodelor moderne de ordonanțare. În cursul capitolelor următoare, cititorul va lua cunoștință și de alte variante ale acestei convenții; esența tuturor este însă aceeași.

Revenind la exemplul dat, raționînd din aproape în aproape, se poate alcătui schema din fig. V.4.

— executarea prefabricatelor (5) se va face după perfectarea contractului (2);

— trasarea (3) se poate face după aprobarea proiectului (1);

— săpăturile pentru fundații (4) se pot executa după trasare (3);

— aprovizionarea cu agregate și ciment (6) poate fi declanșată după aprobarea proiectului (1);

— montarea stîlpilor (7) presupune existența pe șantier a stîlpilor și a materialelor pentru betonul de fundație, deci poate avea loc după terminarea activităților (5) și (6). De asemenea săpăturile (4) trebuie terminate în prealabil;

— montarea plăcilor (8) se poate face după montarea stîlpilor (7).

Pentru a marca terminarea îndeplinirii proiectului s-a figurat un cerc care s-a notat cu *F* (final). De asemenea, pentru a marca începutul programului s-a figurat înaintea activității *1* o activitate fictivă *0*, denumită „activitate fictivă inițială".

Schema rezultată în fig. V.4 poartă denumirea de *graf*, sau *rețea*. Săgețile trasate între noduri poartă denumirea consacrată de *arce*.

Se poate remarca faptul că la elaborarea acestei scheme nu s-au introdus în raționamente duratele.

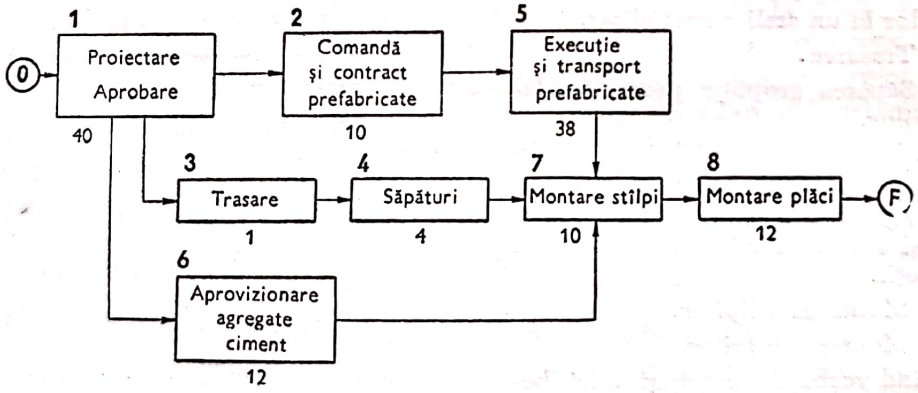


Fig. V.4

De aceea această schemă este valabilă de fapt pentru orice împrejmuire de tipul studiat, indiferent de mărimea ei, de forțele de care se dispune pentru realizare, de influența condițiilor atmosferice etc.

Fără îndoială că pentru acest exemplu ales în mod intenționat, foarte simplu pentru a ușura expunerea, graficul de execuție ar fi putut fi trasat și direct, fără intermediul grafului. Cititorul nu trebuie însă să piardă din vedere faptul că în realitate, proiectele sînt mult mai

complexe, cuprinzînd sute de activități între care apar intercondiționări complicate, care nu pot fi puse în evidență decît prin intermediul grafului.

Graful fiind elaborat, se poate trece la estimarea duratelor. Presupunem că analizîndu-se cantitățile de lucrări și posibilitățile existente s-au stabilit duratele, în zile lucrătoare, înscriindu-se în fig. V.4 sub fiecare activitate în parte.

Înainte de a trece la determinarea termenelor de începere și terminare ale activităților este necesar să se definească în mod precis noțiunea de *termen*.

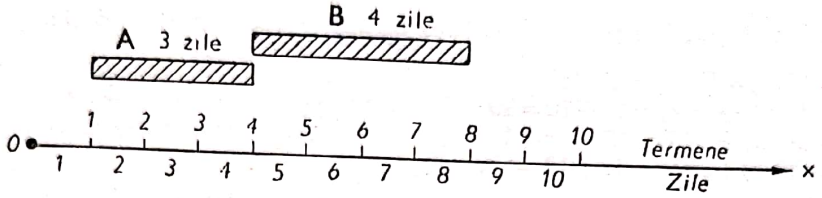


Fig. V. 5

Pentru aceasta convenim în primul rînd să numerotăm zilele lucrătoare începînd de la o zi fixă care este ziua 1. Ziua 1 poate fi aleasă de la caz la caz, fie prima zi lucrătoare a anului, fie prima zi a programului care se calculează, fie o altă zi convenabilă, dar precis determinată.

Prin convenție, *termenul N* este momentul de terminare a zilei lucrătoare nr. *N*, care coincide evident cu momentul de începere a zilei lucrătoare nr. *N+1*.

O activitate care se termină la *termenul 4*, se termină deci în *ziua 4*. O activitate care începe la *termenul 4*, începe de fapt în *ziua 5*. În fig. V.5 s-a reprezentat pe axa *Ox*, prin puncte termenele de la 0 la 10. Segmentele delimitate de aceste puncte reprezintă zilele.

Numerotarea zilelor este făcută sub axă, iar cea a termenelor deasupra.

Din examinarea figurii se pot desprinde următoarele două reguli care stau la baza calculului termenelor:

— termenul de terminare al unei activități se obține adunînd la termenul de începere durata activității. De exemplu, pentru activitatea *A* din fig. V.5 termenul de terminare este

$$T=1+3=4;$$

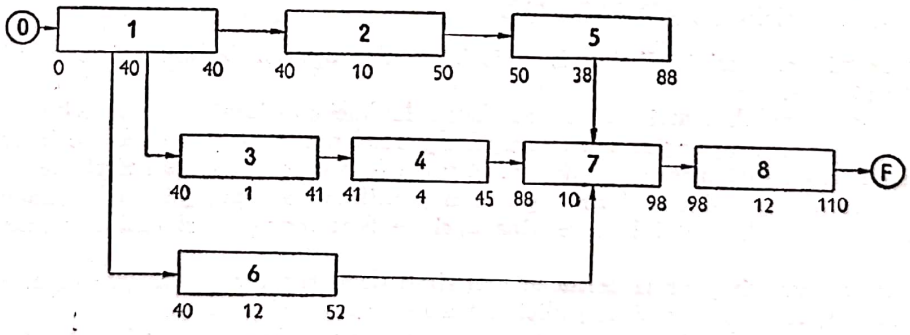


Fig. V. 6

— dacă o activitate *B* urmează imediat după altă activitate *A*, termenul de începere al activității *B* este egal cu cel de terminare al activității *A*. În cazul din fig. V.5 acest termen este 4.

În conformitate cu convenția adoptată, termenul *0* este termenul de începere al zilei *1*.

Se poate trece acum la calculul termenelor pentru graful din fig. V.4. Rezultatele au fost înscrise în fig. V.6 cu următoarea convenție: *termenul de început va fi scris în stînga duratei iar termenul de terminare în partea dreaptă.*

Convenim de asemenea să notăm cu $ID(X)$ termenul de începere al activității X cu $TD(X)$ termenul de terminare al activității X, iar cu $D(X)$ durata acesteia. De exemplu $ID(14)$ și $TD(14)$ sînt termenele de începere și terminare ale activității 14 iar $D(14)$ este durata aceleiași activități.

Considerăm că programul începe la termenul 0.

În consecință, $ID(1)=0;$

$$TD(1)=0+40=40,$$

activitățile 2, 3 și 6 pot începe imediat după terminarea activității 1 deci:

$$ID(2)=ID(3)=ID(6)=TD(1)=40;$$
$$TD(2)=ID(2)+D(2)=40+10=50;$$
$$TD(3)=ID(3)+D(3)=40+1=41,$$
$$TD(6)=ID(6)+D(6)=40+12=52.$$

Activitatea 4 este condiționată de activitatea 3, astfel încît:

$$ID(4)=TD(3)=41;$$
$$TD(4)=ID(4)+D(4)=41+4=45.$$

Activitatea 5 este condiționată de activitatea 2 deci:

$$ID(5)=TD(2)=50;$$
$$TD(5)=ID(5)+D(5)=50+38=88.$$

Activitatea 7 este precedată de activitățile 4, 5 și 6. Ea va putea începe numai după terminarea tuturor acestor activități. Termenul de terminare ale acestora sînt respectiv 45, 88 și 52. Este evident că numai la termenul 88 sînt terminate toate cele trei activități. Se desprinde deci următoarea *regulă: cînd o activitate este precedată de mai multe activități, termenul ei de începere este egal cu cel mai mare dintre termenele de terminare ale activităților precedente.*

$$ID(7)=MAX\{TD(4),\ TD(5),\ TD(6)\}=MAX\{45,\ 88,\ 52\}=88;$$

$$TD(7)=ID(7)+D(7)=88+10=98.$$

Activitatea 8 fiind precedată numai de activitatea 7.

$$ID(8)=TD(7)=98;$$
$$TD(8)=ID(7)+D(7)=98+12=110.$$

Cu terminarea activității 8 se încheie întregul program. Durata programului este deci de 110 zile lucrătoare.

Termenele stabilite mai înainte au fost calculate considerînd că activitatea începe imediat după terminarea operației sau operațiilor precedente, fără nici un fel de interval.

Nu ne poate însă nimeni împiedica să prevedem și termene mai tîrzii de începere.

De exemplu, activitatea 6 ar fi putut fi planificată să înceapă nu la termenul 40 ci la 45. Termenele calculate mai înainte sînt deci de fapt *termene cel mai devreme posibile sau minime.*

Începerea activităților la termene mai tîrzii decît termenele minime prezintă un interes practic evident, legat de folosirea judicioasă a resurselor și de evitarea imobilizării prea timpurii a unor fonduri. În alte situații, realizarea prea timpurie a unor activități nu este recomandabilă din punct de vedere tehnic; este cazul, în acest exemplu, al operației „săpături" care este bine să fie executate cu puțin timp înainte de plantarea stîlpilor, pentru a se evita inundarea gropilor în caz de ploaie.

Dar amînarea începerii unei activități nu poate fi permisă la nesfîrșit, pentru că poate duce la depășirea termenului final. Este necesar să se determine nu numai termenul de începere cel mai devreme ci și termenele peste care amînarea începerii operațiilor duce la depășirea termenului final impus întregului proiect, termene care se denumesc *termene de începere cel mai tîrziu* sau *maxime.* În mod corespunzător se determină și *termenele de terminare cel mai tîrziu,* pentru fiecare activitate.

Scanned with OKEN Scanner

Calculele și raționamentele care se fac pentru a determina aceste termene sînt similare cu cele efectuate mai înainte, dar se pornesc de la ultima activitate spre prima.

Convenim asupra notațiilor:

$ID(X)$ — termen de începere cel mai devreme al activității X;
$TD(X)$ — termen de terminare cel mai devreme al activității X;
$IT(X)$ — termen de începere cel mai tîrziu al activității X;
$TT(X)$ — termen de terminare cel mai tîrziu al activității X;
$D(X)$ — durata activității X.

În fig. V.7 au fost înregistrate și termenele „cel mai tîrziu", sub termenele corespunzătoare „cel mai devreme".

Dorind deci să calculăm termenele a căror depășire ar conduce la depășirea termenului final 110, vom efectua următoarele calcule:

$TT(8)=110$;
$IT(8)=TT(8)-D(8)=110-12=98$,

(deci, dacă activitatea 8 nu începe pînă la 98, termenul 110 nu va fi respectat);

$TT(7)=IT(8)=98$

(deci, dacă activitatea 7 nu se termină pînă la 98, termenul final 110 nu va fi respectat).

$IT(7)=TT(7)-D(7)=98-10=88$
$TT(6)=IT(7)=88$
$IT(6)=TT(6)-D(6)=88-12=76$
$TT(5)=IT(7)=88$
$IT(5)=TT(5)-D(5)=88-38=50$
$TT(4)=IT(7)=88$
$IT(4)=TT(4)-D(4)=88-4=84$
$TT(3)=IT(4)=84$
$IT(3)=TT(3)-D(3)=84-1=83$
$TT(2)=IT(5)=50$
$IT(2)=TT(2)-D(2)=50-10=40$.

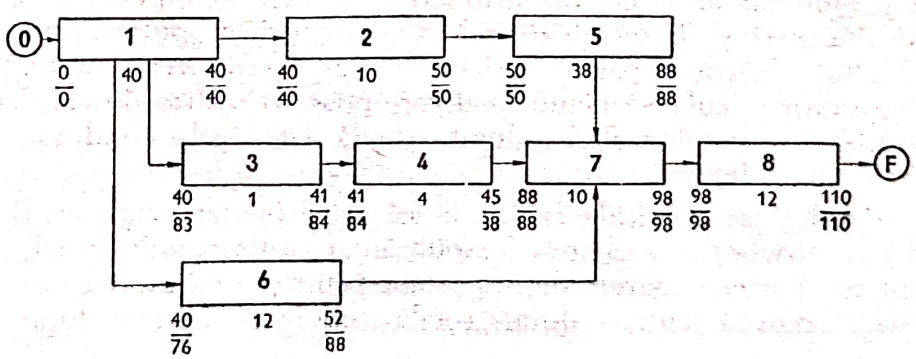


Fig. V. 7

Activitatea 1 trebuie terminată cel mai tîrziu la un termen care să permită tuturor celor trei activități următoare 2, 3 și 6 să înceapă cel mai tîrziu la termenele IT calculate.

Aceste termene sînt:

$IT(2)=40$;
$IT(3)=83$;
$IT(6)=76$.

Scanned with OKEN Scanner

Cel mai mic din ele este 40. Dacă activitatea *1* s-ar termina la un termen mai mare de 40 este limpede că activitatea 2 ar trebui amînată peste termenul *IT* calculat, ceea ce ar atrage după sine depășirea termenului final 110. Activitățile *3* și *6* nu sînt deranjate de faptul că activitatea precedentă se termină la 40.

Deci:

$$TT(1)=\text{MIN}\{(IT(2),\ IT(3),\ IT(6))\}=\text{MIN}\{40,\ 83,\ 76\}=40;$$
$$IT(1)=TT(1)-D(1)=40-40=0.$$

Din examinarea rezultatelor înscrise în fig. V.7 rezultă că la unele activități termenele „cel mai tîrziu" coincid cu termenele „cel mai devreme" (activitățile *1*, *2*, *5*, *7* și *8*).

Aceste activități se numesc *critice* deoarece nu există posibilitatea amînării vreuneia din ele fără a provoca amînarea terminării întregului proiect.

Se poate constata că aceste activități formează o înlănțuire care unește nodul O de nodul F.

Această înlănțuire poartă denumirea de *drum critic*. Durata întregii lucrări este egală cu suma duratelor activităților de pe drumul critic:

$$40+10+38+10+12=110.$$

Din exemplul expus, se pot trage deja cîteva concluzii privitoare la avantajele metodei drumului critic:

1) S-a obținut cu ajutorul grafului o reprezentare grafică foarte intuitivă a succesiunii logice a activităților.

Este evident că avantajele folosirii acestei reprezentări cresc pe măsura creșterii mărimii și complexității proiectului; în cazurile reale cele mai frecvente grafuri cuprind cîteva sute de activități și este evident că intercondiționările uneori foarte complicate, dintre activități nu pot fi puse în evidență decît cu ajutorul grafurilor. În acest sens, graful în sine constituie un instrument foarte eficace de studiu și analiză a proiectelor, precum și un mijloc de comunicare rapid și clar între diferiții factori care colaborează la îndeplinirea proiectului.

2) Cu ajutorul unor calcule aritmetice simple, s-au putut determina termenele de începere și de terminare cele mai timpurii cu putință, precum și termenele limită, a căror depășire periclitează respectarea termenului final.

3) S-a putut calcula termenul final care poate fi realizat în cazul respectării succesiunii și a duratelor alese; durata totală este egală cu durata drumului critic.

S-au determinat *operațiile critice*, adică acele operații care nu pot fi decalate fără a se provoca o decalare corespunzătoare a termenului final.

Acest rezultat este extrem de important pentru două motive:

— dacă vrem să scurtăm durata totală trebuie să scurtăm durata drumului critic;

— pentru respectarea termenului final trebuie să ne îndreptăm atenția asupra operațiilor critice; în plus cunoaștem și termenele limită pentru operațiile necritice, ceea ce va permite la nevoie o repliere a forțelor de la operațiile necritice spre cele critice, fără periclitarea termenului final.

Acestea nu sînt decît cîteva din avantajele metodei. În cursul capitolelor următoare se vor putea constata și altele, printre care un loc important îl constituie posibilitatea folosirii calculatoarelor electronice pentru conducerea optimă a desfășurării lucrărilor.

Scanned with OKEN Scanner

Exerciţiu. Elaboraţi graful execuţiei unui drum, la care sînt de executat următoarele operaţii (date în ordine alfabetică):

1. Cilindrare balast.
2. Împrăştiere balast.
3. Întărire beton.
4. Strat de circulaţie din asfalt.
5. Strat de rezistenţă.
6. Terasamente.

VI

ELEMENTELE PROIECTULUI ŞI ELEMENTELE GRAFULUI

1. ACTIVITATEA

După cum s-a văzut, prin *activitate* sau *operaţie* se înţelege în teoria ordonanţării orice acţiune sau grup de acţiuni pentru care este necesar să se prevadă un termen de începere şi unul de terminare. Tot în această noţiune se cuprind şi perioadele de aşteptare obligatorie, chiar dacă nu necesită o acţiune din partea vreunui executant, cum sînt de exemplu: întărirea betonului, uscarea tencuielilor şi gletului etc.

Pot constitui activităţi:

a) lucrări de bază: lucrări de roşu, finisaje, instalaţii etc.;

b) lucrări de organizare teritorială a şantierului: instalare de barăci, instalaţii provizorii de alimentare cu apă şi energie, montarea şi demontarea căilor de rulare ale macaralelor, instalarea utilajelor, nivelări şi curăţiri de teren etc.;

c) întocmirea proiectelor pentru lucrări de bază sau organizare de şantier, verificarea lor, studiul şi asimilarea lor de către personalul executant;

d) efectuarea unor cercetări de laborator sau de teren, legate de încercarea materialelor şi elementelor de construcţie sau de introducerea unor procedee de execuţie noi; elaborarea de instrucţiuni, caiete de sarcini etc.;

e) acţiuni legate de asigurarea amplasamentelor: dezafectări, exproprieri, demolări etc.;

f) acţiuni administrative: avize, aprobări, diverse formalităţi;

g) acţiuni pentru asigurarea resurselor: angajare personal, comenzi şi contracte cu furnizorii de materiale, prefabricate, confecţii metalice şi de lemn, utilaj tehnologic, utilaj de construcţii şi mijloace de transport; transportul materialelor speciale şi al utilajului tehnologic;

i) aşteptări legate de procese naturale: întărirea betonului, uscarea tencuielilor, şapelor, gleturilor etc.

Scanned with OKEN Scanner

2. GRADUL DE AMĂNUNȚIME

În conformitate cu definiția dată mai înainte, „executarea structurii de rezistență la hala 1" constituie o activitate. Dar în același timp și lucrările:

— „săpături fundații la hala 1";
— „turnare fundații la hala 1";
— „preturnare stîlpi la hala 1";
— „montare stîlpi la hala 1";
— „montare grinzi la hala 1";
— „montare plăci acoperiș la hala 1" etc.

pot fi considerate de asemenea activități.

La rîndul ei, activitatea „turnare fundații" poate fi subîmpărțită în:

— „turnare blocuri";
— „armare și cofrare cuzinețI";
— „turnare cuzinețI";
— „întărirea betonului în fundații"

toate acestea putînd fi considerate, conform definiției, ca activități.

La rîndul ei, activitatea „turnare blocuri" ar putea fi împărțită în:

— „turnare blocuri la cadrul 1";
— „turnare blocuri la cadrul 2";
. . . . . .
— „turnare blocuri la cadrul 20";

și acestea pot fi privite de asemenea ca activități.

Din acest exemplu se poate vedea că împărțirea unui proiect în activități se poate face în mai multe feluri, în funcție de gradul de amănunțime pe care dorim să-l dăm planificării. Alegerea gradului de amănunțime optim va fi tratat într-unul din capitolele următoare; el este evident dictat de nivelul de conducere la care va fi folosit programul rezultat.

3. RELAȚII ÎNTRE ACTIVITĂȚI

Alegînd o operație oarecare X a unui proiect, se poate constata că toate celelalte operații ale proiectului se împart, în raport cu operația X în:

a) operații care trebuie terminate înainte de începerea operației X; acestea se numesc operațiile *precedente* operației X;

b) operații care nu pot fi începute în nici un caz decît după ce operația X a fost terminată; acestea sînt operațiile *următoare* sau *posterioare* operației X.

Convenim să folosim pentru operațiile precedente și următoare ale operației X, expresia *operații legate în serie cu operația X*;

c) operații care nu se încadrează în cele două categorii menționate. Convenim să le numim *logic indiferente*, sau *legate în paralel*.

Relațiile de tipul celor enunțate la pct. a și b sînt *relații de ordine* sau de *succesiune*.

De exemplu: operațiile „fundații", „structură subsol", „structură parter" sînt operații precedente pentru „structură etaj 3". Toate operațiile de finisaj de la etajul 3 sînt operații următoare operației „structură etaj 3". În schimb,

Scanned with OKEN Scanner

operaţia „zidării de umplutură la parter" nu este nici precedentă, nici următoare pentru „structură etaj 3", neexistînd nici un motiv ca ea să nu se execute înainte, simultan sau după „structură etaj 3".

Convenim să numim relaţiile de tipul a sau b, *condiţionări*. Vom spune că activitatea *A* condiţionează activitatea *B*, dacă activitatea *B* nu poate începe decît după ce activitatea *A* s-a terminat complet sau cel puţin într-o anumită proporţie dată.

Între unele activităţi logic independente, care se pot executa teoretic simultan, pot apărea relaţii prin faptul că necesită folosirea unei resurse comune, de care nu se dispune în cantităţile care ar fi necesare. Aceste relaţii se numesc de tip *cumulativ*.

4. CONDIŢIONĂRI

Este intuitiv faptul că nu toate condiţionările sînt la fel de puternice. Unele din ele nu pot fi modificate sau înlăturate deoarece ele sînt în firea lucrurilor. De exemplu, condiţionarea: „execuţia structurii de rezistenţă parter precede execuţia structurii la etajul 1" este inevitabilă; condiţionările de acest tip se numesc *absolute*.

Alte condiţionări pot fi neglijate, fie intenţionat, fie din greşeală. În cazul executării unui drum nou, care urmează să fie subtraversat de o canalizare, este evident raţional ca execuţia drumului să fie condiţionată de terminarea tronsonului de canalizare din ampriza drumului. Dar este evident de asemenea, că acest lucru nu este inevitabil şi din motive justificate, sau pur şi simplu din lipsă de coordonare, drumul poate fi executat înaintea canalizării.

Condiţionările de acest tip sînt clasificate ca *relative*. Nu toate condiţionările relative au aceeaşi putere. La unele se poate renunţa mai uşor, la altele mai greu, unele din acestea apropiindu-se foarte mult de condiţionările absolute.

Din punct de vedere al naturii lor, condiţionările relative pot fi: tehnologice, legislative şi organizatorice.

Condiţionările tehnologice sînt condiţionări provocate de reguli tehnologice, legiferate sau nu, al căror scop este de fapt de a asigura calitatea şi economicitatea lucrărilor.

De exemplu: executarea instalaţiilor electrice înaintea tencuielilor, montarea parchetului după terminarea proceselor umede, montarea geamurilor după terminarea uscării tencuielilor (vara) etc.

Condiţionările legislative sînt condiţionări provocate de anumite prevederi legale şi se referă în mod special la procedurile cu caracter administrativ: avizări, aprobări, comenzi, contracte, operaţiuni bancare şi de planificare, recepţii.

De exemplu: avizarea în Consiliul tehnico-ştiinţific condiţionează trimiterea spre avizare la forurile superioare; evacuarea unui imobil supus demolării este condiţionat de emiterea decretului de expropriere; începerea execuţiei este condiţionată de perfectarea contractului şi de deschiderea finanţării etc.

Scanned with OKEN Scanner

Condiționările organizatorice sînt condiționări între două sau mai multe activități, pentru a căror realizare este necesară folosirea unei aceleiași resurse indivizibile, din care cauză activitățile trebuie executate pe rînd.

De exemplu: două săpături *A* și *B*, care trebuie efectuate cu același excavator, două prefabricate care se montează cu aceeași macara și de aceeași echipă, două operații oarecare pe un front de lucru îngust care nu permite executarea lor simultană (cum ar fi două instalații subterane situate în ampriza aceluiași drum), tencuirea a două apartamente care trebuie făcută de aceeași formație minimă etc.

După cum se vede și din aceste exemple, acest tip de condiționări are următoarele caracteristici:

— condiționarea este în general reversibilă; reluînd exemplul cu cele două săpături *A* și *B*, există posibilitatea să alegem între ordinea $A \rightarrow B$ și $B \rightarrow A$;

— condiționarea depinde de condițiile organizatorice și deci de modificarea acestora; reluînd același exemplu, dacă se dispune de două excavatoare este evident că între cele două săpături *A* și *B* nu apare nici o condiționare, ele putîndu-se executa simultan.

Din aceste motive, acest tip de condiționări este tratat ca un tip special de relații între activități, care se numesc *relații disjunctive*.

5. GRAFUL

După cum s-a arătat în capitolul precedent, metodele moderne de ordonanțare se bazează pe diferite reprezentări grafice ale activităților și condiționărilor. Expunerea care urmează va folosi un sistem de reprezentare folosit în „metoda potențialelor" (B. Roy), metoda John Fondhal și metoda PERT — Olivetti, la care au fost adăugate o serie de elemente noi.

Acest sistem constă, după cum s-a văzut în capitolul precedent, în reprezentarea activităților prin dreptunghiuri, denumite *noduri*, și a condiționărilor prin linii orientate care unesc nodurile respective, linii care poartă denumirea de *arce*.

În fig. VI.1, *a*, sînt reprezentate două noduri *1* și *2*, legate între ele prin condiționarea *1—2*. Semnificația acestei reprezentări poate fi exprimată prin: „activitatea *1 precede* activitatea *2*", sau „activitatea *2 urmează* activitatea *1*" sau „activitatea *1 condiționează* activitatea *2*".

Figura VI.1, *b*, *c*, *d* și *e* reprezintă aceleași noduri și aceeași condiționare și au toate același înțeles; așadar poziția relativă a nodurilor, direcția, lungimea și forma arcelor nu au nici o semnificație și nici o influență asupra înțelesului reprezentării.

Totuși, pentru a asigura o citire ușoară a grafului, se recomandă ca arcele să respecte toate o aceeași direcție, de obicei stînga-dreapta.

Ne propunem să reprezentăm o lucrare care conține șase activități, cunoscînd că:

a) activitatea *1* precede toate activitățile;
b) toate activitățile preced pe *6*;
c) activitatea *3* precede activitățile *4* și *5*.

Scanned with OKEN Scanner

Indicaţiile de la pct. a şi b ne conduc la ideia ca într-o primă aproximaţie să desenăm nodul *1* în stînga, nodul *6* în dreapta, iar celelalte în partea centrală a desenului (fig. VI.2, *a*).

Trasăm apoi condiţionările (fig. VI.2, *b*).

Pentru mai multă claritate, figura a fost redesenată, schimbîndu-se poziţia nodurilor *3*, *4* şi *5* astfel încît direcţia tuturor arcelor să fie de la stînga la dreapta (fig. VI.2, *c*).

Analizînd figura constatăm că nodul *4* are ca noduri precedente nodurile *1* şi *3*, ca noduri următoare nodul *6* şi ca noduri indiferente nodurile *2* şi *5*.

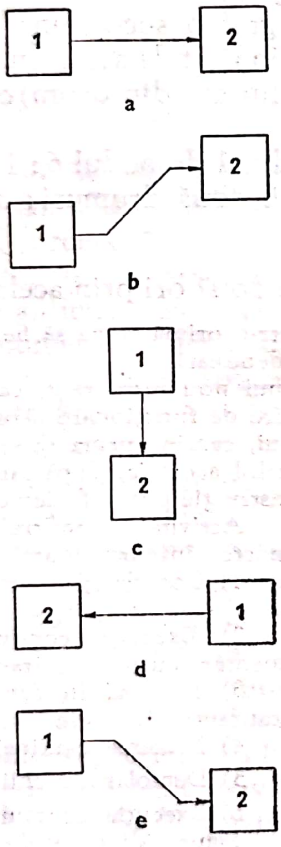


Fig. VI. 1

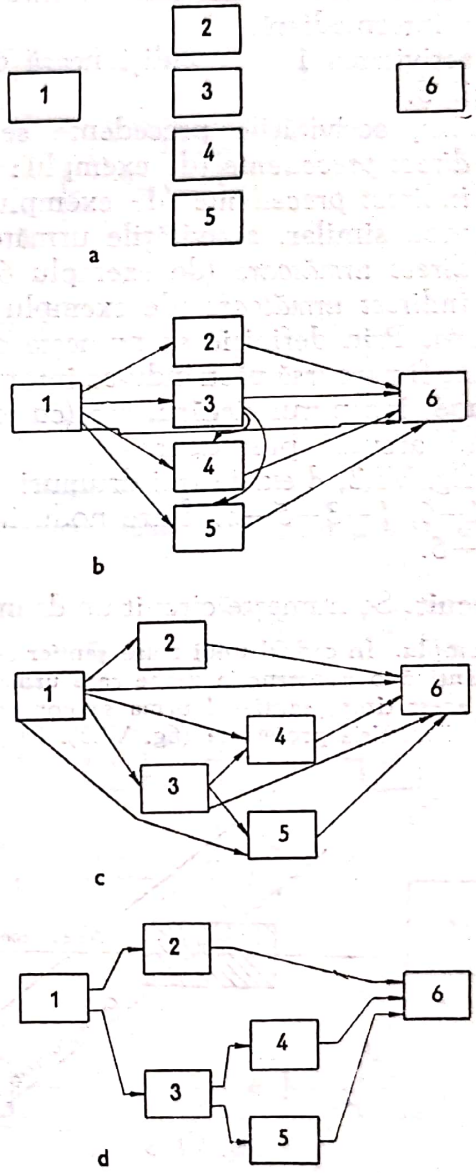


Fig. VI. 2

Arcul *1*—*4* care indică faptul că nodul *1* precede pe *4* nu este strict necesar deoarece acelaşi lucru se deduce din existenţa arcelor *1*—*3* şi *3*—*4* care arată că activitatea *1* trebuie să preceadă pe *3* şi activitatea *3* pe *4*, deci implicit *1*

precede pe 4. Arcul 1—4 poate fi șters fără a altera înțelesul figurii. Pentru acest motiv se numește arc *supraabundent.*

În mod similar pot fi suprimate arcele 1—5, 1—6 și 3—6. Rezultă fig. VI.2, *d.*

Analizînd acum activitățile precedente ale activității 4 se constată că:

— activitatea 3 condiționează *direct* pe 4, între ele neexistînd nici o altă activitate intermediară.

— activitatea 1 nu condiționează direct pe 4, ci *indirect* prin intermediul activității 3.

Așadar, activitățile precedente se pot împărți în:

— *direct precedente* (de exemplu: 1 față de 3, 3 față de 4 și 5;

— *indirect precedente* (de exemplu 1 față de 4, 5, 6).

În mod similar, activitățile următoare se pot împărți în:

— *direct următoare* (de exemplu 6 față de 2, 4, 5);

— *indirect următoare* (de exemplu 6 față de 1 și 3).

Drum. Prin definiție se numește drum într-un graf o succesiune de arce care poate fi parcursă păstrîndu-se întotdeauna sensul indicat de arce. În această succesiune, începutul fiecărui arc (cu excepția primului arc din drum) coincide cu vîrful arcului precedent.

În fig. VI.2, *d* există trei drumuri care unesc nodul 1 de nodul 6: 1—2—6, 1—3—4—6, 1—3—5—6. Între nodurile 3 și 6 există două drumuri: 3—4—6 și 3—5—6.

Circuit. Se numește circuit un drum care trece de două ori prin același nod.

Exemplu. În cadrul unui mare șantier s-a prevăzut ca într-o primă etapă să fie folosită pentru cantină o construcție veche care urma să fie ulterior demolată.

În acest timp, șantierul urma să construiască localul unui nou restaurant, care făcea parte din investiția proiectată (fig. VI.3). După punerea în stare de funcționare a restaurantului, cantina urma să se mute în localul acestuia, după care vechea construcție putea fi demolată.

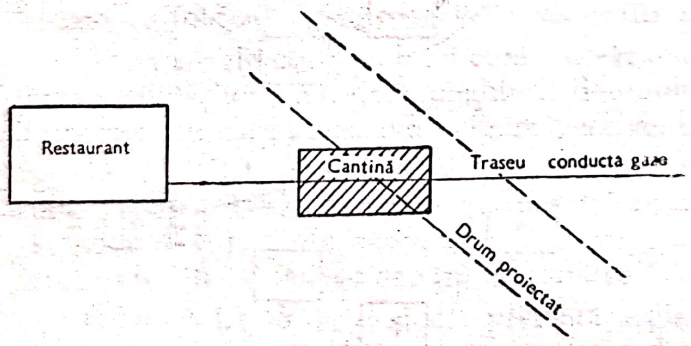


Fig. VI. 3

Activitățile care trebuie programate sînt următoarele:

1) Construcția restaurantului.

2) Execuția conductei de alimentare cu gaze a restaurantului

3) Punerea în funcțiune a restaurantului.

4) Mutarea cantinei.

5) Demolarea vechii cantine.

6) Execuția drumului.

Figura VI.4 reprezintă graful cuprinzînd activitățile amintite.

Din examinarea acestui graf se remarcă existența unui drum care trece de două ori prin același nod: 2—3—4—5—2. Acesta este un circuit.

Este evident că într-un graf de ordonanțare existența unui circuit este un nonsens. Într-adevăr, graful din fig. VI.4 indică faptul că conducta de gaze trebuie executată înainte de ea însăși, ceea ce este absurd.

În cazul simplu al acestui exemplu, cititorul și-a dat fără îndoială seama de imposibilitatea efectuării activităților enumerate în condițiile concrete date (existența cantinei pe traseul viitoarei conducte de gaze), chiar înainte de examinarea grafului. De asemenea, existența

circuitului în graful din fig. VI.4 se remarcă la prima vedere. Nu la fel de uşor pot fi detectate circuitele în situaţiile reale, cînd avem de-a face cu un număr mare de activităţi şi mai ales cînd, în mod inerent, graful nu poate fi desenat pe o singură foaie de hîrtie, ci trebuie alcătuit din subgrafuri, desenate pe planşe separate.

Depistarea circuitelor dintr-un graf poate fi făcută cu uşurinţă numerotînd nodurile după o regulă numită *regula clasică* de numerotare sau *regula de aur*, regulă datorată lui Fulkerson.

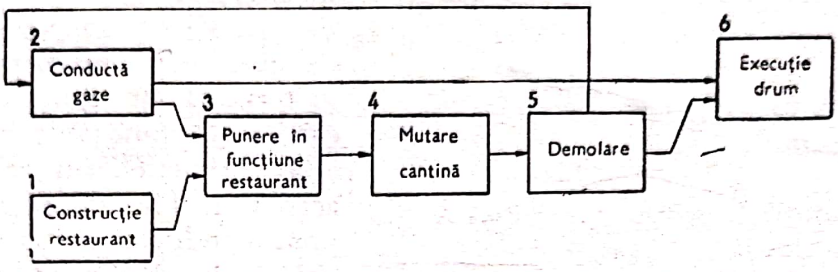


Fig. VI. 4

6. NUMEROTAREA NODURILOR

Regula de aur. Nodurile grafului se numerotează astfel încît întotdeauna numărul nodului de la vîrful unui arc să fie mai mare decît numărul nodului de la coada arcului.

Pentru respectarea acestei reguli este suficient ca orice nod să nu fie numerotat decît după ce au fost numerotate toate nodurile precedente lui.

Este evident că în acest fel nodurile dintr-un circuit nu pot fi numerotate niciodată.

Pentru a ilustra această regulă, în fig. VI.5, *a* s-a figurat un graf ale cărui activităţi au fost numerotate la întîmplare. Astfel: activitatea *E* are un număr mai mare decît activităţile *B* şi *C* care sînt următoare, activitatea *F* are un număr mai mare decît activitatea *C*.

În fig. VI.5, *b* activităţile au fost renumerotate conform regulei de aur.

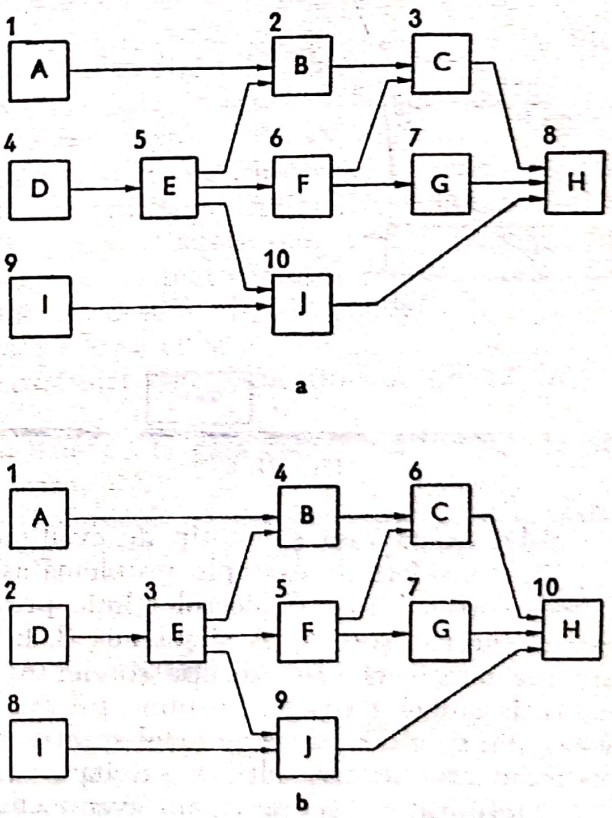


Fig. VI. 5

7. EVENIMENTE

Se numeşte *eveniment* orice moment semnificativ din desfăşurarea unui program.

Astfel se disting în primul rînd evenimentele „începerea programului" și „terminarea programului".

În afară de acestea se poate considera că începerea sau terminarea fiecărei activități constituie un eveniment.

Pot exista deci, de exemplu, evenimentele: „terminat săpături", „început structura la etaj 1", „terminat hidroizolația acoperișului" etc.

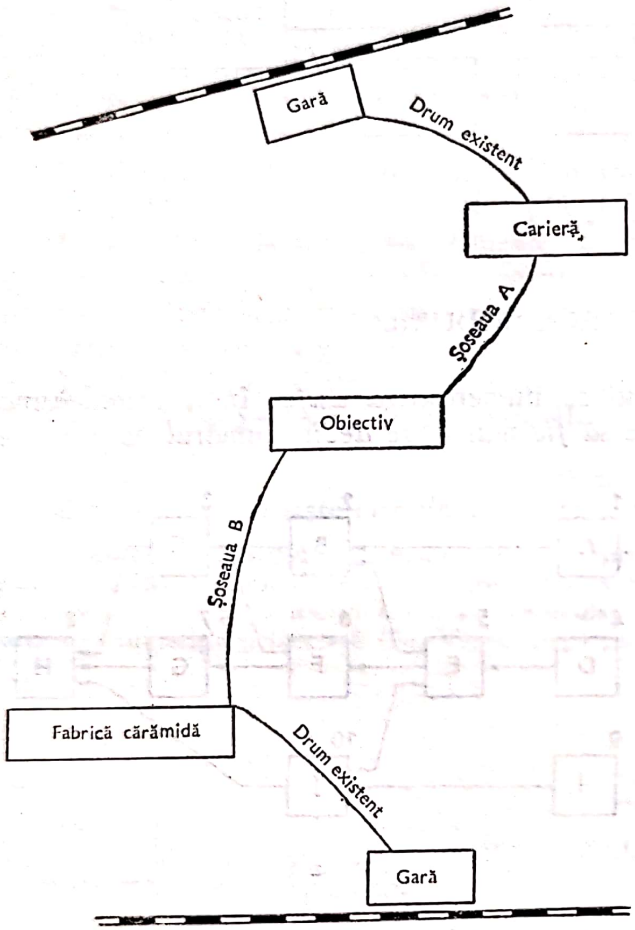


Fig. VI. 6

În sfîrșit, se poate considera ca eveniment momentul în care se termină un grup de activități care condiționează toate o aceeași altă activitate sau un grup de activități. Fie, de exemplu, cazul unei conducte de alimentare cu apă, realizate din două tronsoane *A* și *B*, alimentată la o stație de pompare nou construită, la rîndul ei racordată la rețeaua orașului prin tronsonul *C*. Darea în funcțiune a aceste alimentări este condiționată și de execuția tronsonului *A* și de execuția tronsonului *B*, și de execuția tronsonului *C*, și de execuția stației de pompare. Se poate deci considera că momentul terminării acestor activități constituie un eveniment, care ar putea fi denumit „activitățile care condiționează darea în folosință a lucrării sînt terminate" sau mai scurt „gata pentru darea în folosință".

În paragraful de mai înainte a fost subliniat în mod intenționat cuvîntul **și**, deoarece el este caracteristic tipului de eveniment descris.

Mai există însă și alt tip de evenimente.

Se consideră de exemplu problema asigurării căilor de acces la un obiectiv oarecare (fig. VI.6). Proiectul tehnic prevede creerea a două căi de acces la acest obiectiv, șoseaua *A* și șoseaua *B*. Evenimentul „accesul este realizat" presupune terminată **sau** execuția șoselei *A*, **sau** execuția șoselei *B*, sau, evident, execuția ambelor șosele. Evenimentul are loc în momentul în care prima șosea este gata, spre deosebire de cazul studiat mai înainte în care evenimentul are loc în momentul în care ultima activitate precedentă este gata.

Definiții. Se spune că un eveniment de tip „și" are loc în momentul în care a fost terminată ultima activitate dintr-un grup dat de activități.

Se spune că un eveniment de tip „sau" are loc în momentul în care a fost terminată prima activitate dintr-un grup de activităţi dat.

Convenţie. Convenim ca, atunci cînd nu se specifică tipul evenimentului, să considerăm că este de tip „şi".

8. REPREZENTAREA EVENIMENTELOR ÎN GRAF

Convenţie. Un eveniment de tip „şi" se poate reprezenta în graf printr-un nod. Ca semn convenţional pentru nodurile-eveniment s-a adoptat cercul, în interiorul căruia se scrie numărul evenimentului.

Este important că nu orice eveniment „şi" (în sensul definiţiei date) trebuie reprezentat în graf. În cele ce vor urma vor fi arătate cazurile în care figurarea acestor evenimente este utilă, în vederea unei sistematizări cît mai bune a grafului.

Un eveniment de tip „sau" se reprezintă în graf tot printr-un nod. Ca semn convenţional pentru acest tip de nod se foloseşte un triunghi, în interiorul căruia se scrie numărul evenimentului.

Eventuala denumire a evenimentului se scrie sau lîngă nod sau în interiorul nodului dacă mărimea figurii o permite.

Figura VI.7, *a* ilustrează reprezentarea unui eveniment „şi", iar figura VI.7, *b* ilustrează reprezentarea unui eveniment „sau".

Dintr-o analiză mai atentă a grafului din fig. VI.7, *b* se poate constata că el nu conţine toate informaţiile strict necesare referitoare la activităţile „Execuţie şoseaua *A*" şi „Execuţie şoseaua *B*". Într-adevăr, evenimentul *E* (de tip „sau") indică faptul că una din şoselele *A* şi *B* condiţionează începerea transportului pe calea ferată a utilajelor de construcţii la obiectiv. Nu se indică însă ce activităţi sînt condiţionate de cealaltă şosea. Această omisiune ar face imposibilă determinarea termenului de terminare cel mai tîrziu al execuţiei celei de-a doua şosele, care ar putea fi amînată în acest fel în mod indefinit.

În fig. VI.7, *c* graful este completat şi se citeşte astfel:

— începerea transportului de cărămizi este condiţionată de terminarea şoselei *B*;

— începerea transportului de utilaje de la gară este condiţionată de una din şoselele *A* sau *B* (prima care se termină).

Din cele arătate rezultă următoarea regulă: *orice activitate care condiţionează un eveniment „sau" trebuie să mai condiţioneze cel puţin o altă activitate ori un eveniment de tip „şi".*

9. NODURI INIŢIALE, NODURI FINALE

Este evident că un graf de ordonanţare trebuie să conţină cel puţin o activitate care nu este condiţionată de altele şi cel puţin o activitate care nu condiţionează alte activităţi ale proiectului în cauză. Acestea sînt activităţile *iniţiale* şi activităţile *finale* şi împreună formează categoria activităţilor *marginale*. Este

Scanned with OKEN Scanner

foarte util în practică ca aceste activități să fie scoase în evidență, să fie *marcate*. Rolul acestui marcaj este atît de a face ușor reperabile activitățile care pot începe încă de la început și activitățile care încheie lucrarea, cît și pentru a se detecta eventualele „pendule".

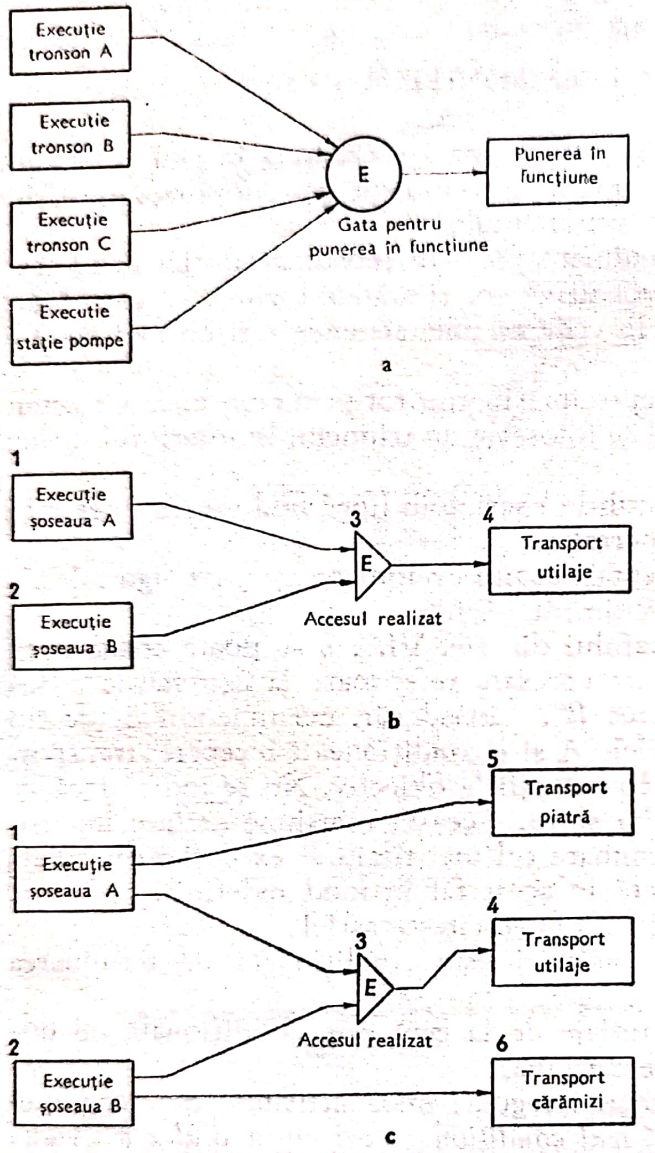


Fig. VI.7

Pendula este o activitate căreia din eroare i s-a omis desenarea arcelor precedente sau următoare, astfel încît, ea are aparența unei activități inițiale sau finale.

Există mai multe moduri de a marca activitățile marginale.

1) Prin introducerea unui singur nod-eveniment care precede toate activitățile inițiale (eveniment inițial sau START) și a unui singur nod-eveniment care urmează tuturor activităților finale (eveniment FINAL) (fig. VI.8).

2) Prin introducerea mai multor *evenimente inițiale* și/sau *finale*. Evenimentele inițiale sînt marcate cu *S* iar cele finale cu *F* (fig. VI.9).

3) Din considerente de claritate, pentru a se evita aglomerarea arcelor la un singur nod inițial, respectiv final, acestea se înlocuiesc cu bare verticale (fig. VI.10). Aceasta este doar o variantă de reprezentare grafică a sistemului descris la pct. 1.

4) Toate activitățile inițiale sînt marcate vizibil cu *S* (start) iar cele finale cu *F* (final), (fig. VI.11). Deci, în acest sistem nodurile inițiale pot fi activități. Evident, sistemul poate fi folosit la un graf simultan cu cel descris la pct. 2.

Folosirea mai multor noduri inițiale sau finale (pct. 2 și 4) este dictată de faptul că orice lucrare poate avea mai multe „începuturi logice" sau „sfîrșituri logice" independente între ele.

De exemplu (fig. VI.12), în cazul execuției unei hale prefabricate, începerea montajului prefabricatelor este condiționată pe de o parte de activitatea „preturnare prefabricate" și pe de altă parte de activitatea „aducerea macaralei

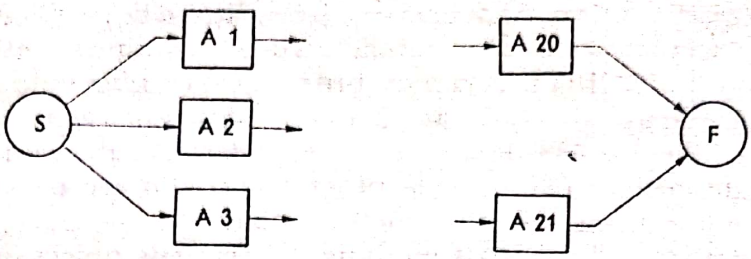


Fig. VI. 8

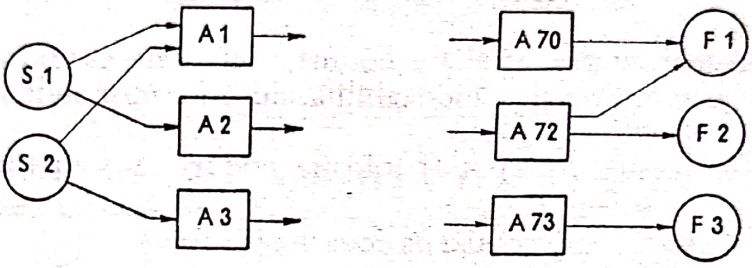


Fig. VI. 9

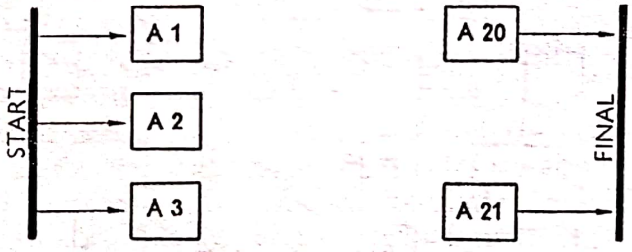


Fig. VI. 10

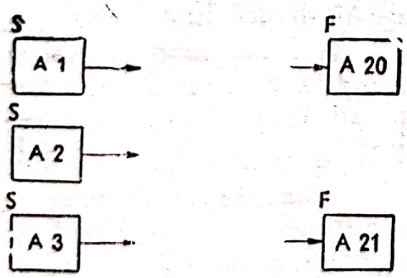


Fig. VI. 11

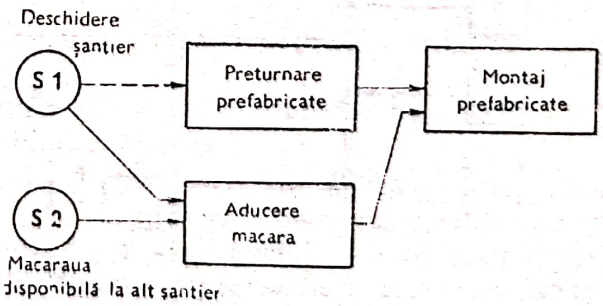


Fig. VI .12

Scanned with OKEN Scanner

pe șantier". Această ultimă activitate este condiționată la rîndul ei de evenimentul S2. „macaraua este disponibilă". Acest eveniment este independent de desfășurarea activității la hala care se programează, el depinde de desfășurarea altui proiect care a folosit macaraua înainte. Termenul calendaristic al acestui eveniment este independent de termenul calendaristic al evenimentului inițial „deschiderea șantierului" (S1) la hala programată. Din acest motiv este normal ca el să fie figurat printr-un eveniment inițial.

În mod similar, „darea în funcțiune" a fiecărui obiect într-un complex de locuințe constituie evenimente care nu condiționează alte activități din graf, din care cauză este normal ca ele să fie reprezentate ca evenimente finale.

10. NODURI FUNCȚIONALE

Pînă în prezent au fost studiate nodurile-activitate și nodurile-evenimente, noduri care au o semnificație bine stabilită, au un corespondent fizic în cadrul proiectului care se programează.

În afară de acestea mai pot fi folosite noduri care au funcțiuni în graf.

a. NODURI DE CONEXIUNE INTERNĂ

Din compararea fig. VI.13 *a* și *b*, rolul nodurilor de conexiune iese ușor în evidență: ele permit bifurcarea arcelor și prin aceasta înlocuirea porțiunilor

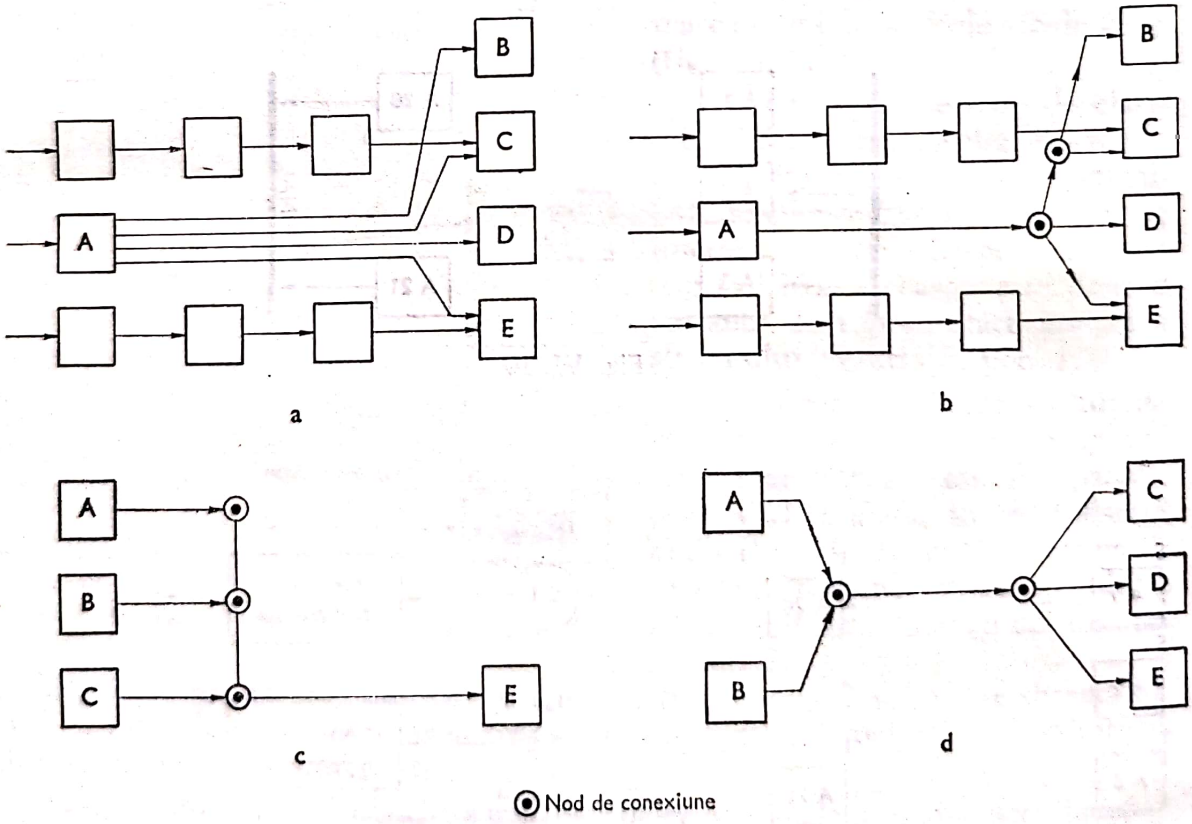


Fig. VI.13

paralele lungi, care încarcă inutil desenul, cu un singur arc, comun mai multor condiţionări.

În mod uzual, nodurile de conexiune nu se numerotează, figura citindu-se astfel: „activitatea A condiţionează activităţile B, C, D şi E". Figurile VI.13 *c* şi *d* prezintă alte două exemple de folosire a nodurilor de conexiune.

Graful din fig. VI.13, *d* se citeşte astfel:

— activitatea A condiţionează activităţile C, D şi E;

— activitatea B condiţionează activităţile C, D şi E;

— activitatea C este condiţionată de activităţile A şi B;

— activitatea D este condiţionată de activităţile A şi B;

— activitatea E este condiţionată de activităţile A şi B.

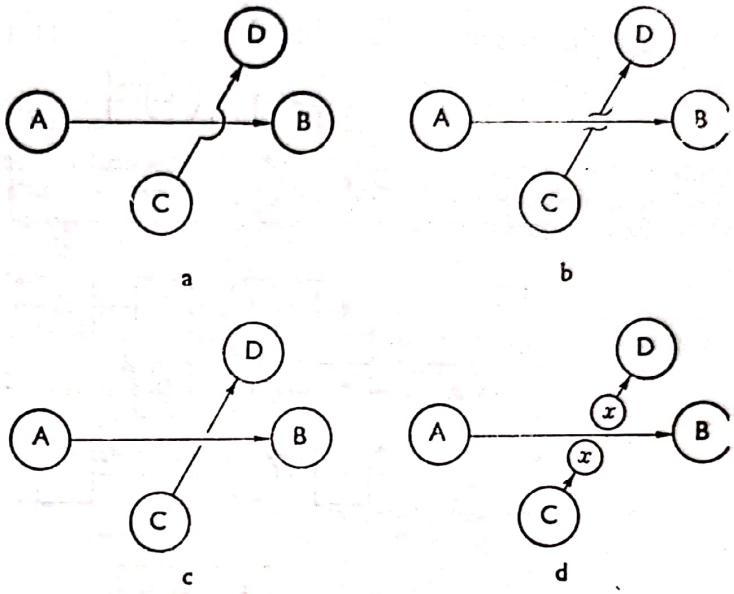


Fig. VI.14

Folosirea arcelor cu ramificaţie la ambele extremităţi, cum este cazul arcului din fig. VI.13, *d* trebuie făcută cu multă prudenţă, pentru a se evita introducerea eronată a unor condiţionări suplimentare.

Observaţie. La desenarea grafurilor, nodurile de conexiune trebuie bine evidenţiate pentru a se evita confuzia posibilă între punctul de intersecţie a două arce oarecare (independente între ele) şi nodul de conexiune; în fig. VI.13 nodurile de conexiune au fost evidenţiate prin puncte încercuite.

Pentru a se evita confuziile, unii autori şi practicieni folosesc la intersecţiile de arce independente unul din procedeele arătate în fig. VI.14.

b. NODURI DE CONEXIUNE EXTERNĂ

Procedeul folosit în fig. VI.14, *d* sugerează trecerea spre nodurile de *conexiune externă.*

Nodul de conexiune externă permite să se reprezinte condiţionarea între două noduri ale grafului, desenate pe planşe diferite.

În fig. VI.15, *a* şi *b* sînt desenate două părţi ale aceluiaşi graf (două subgrafuri) între care legăturile au fost întrerupte şi reprezentate simbolic cu nodurile X, Y, Z. Nodurile de conexiune X, Y şi Z permit reconstituirea grafului care este reprezentat în fig. VI.15, *c* şi *d* cu, respectiv fără, figurarea nodurilor de conexiune.

Scanned with OKEN Scanner

Nodurile de conexiune pot reprezenta uneori evenimente semnificative, în care caz vor primi denumirea evenimentului respectiv.

În unele cazuri au fost întrebuințate pentru conexiune chiar activitățile (fig. VI.16). Acest ultim procedeu nu este recomandabil în practică, deoarece

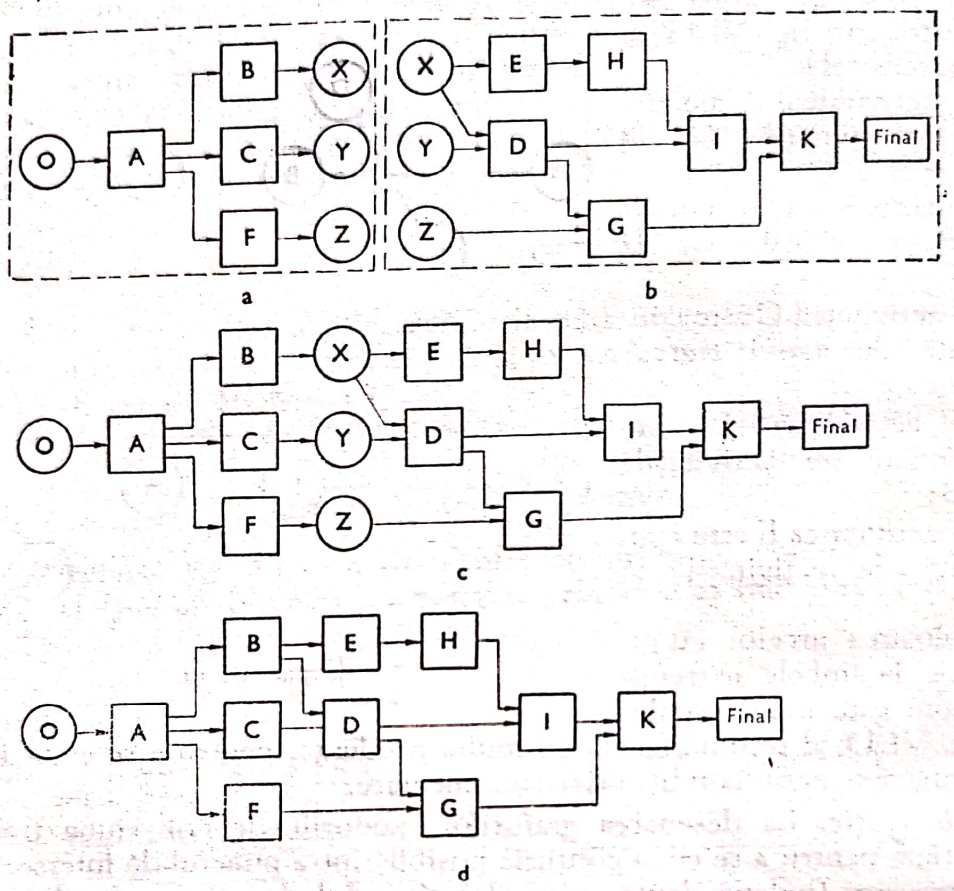


Fig. VI. 15

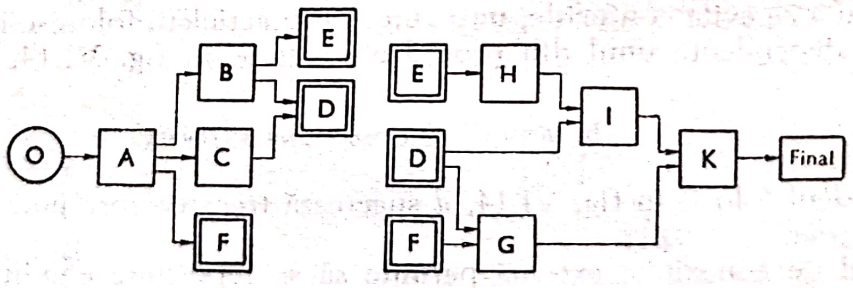


Fig. VI.16

în acest fel o aceeași activitate apare reprezentată de două sau mai multe ori, ceea ce îngreunează urmărirea grafului și ținerea evidenței activităților realizate; există de asemenea pericolul ca durata unei activități să fie luată în calcul de două ori.

Nodurile de conexiune mai poartă şi denumirile de *interfeţe, noduri de interferenţă, noduri de joncţiune.*

Pentru fiecare subgraf în parte ele sînt noduri marginale, adică *începuturi* sau *sfîrşituri logice* ale subgrafului.

Avînd în vedere faptul că în marea majoritate a cazurilor practice, datorită numărului mare de activităţi grafurile se proiectează descompuse în subgrafuri, corecta folosirea a nodurilor de conexiune este de mare importanţă.

c. NODURI DE COMUTAŢIE (COMUTATOARE)

Există numeroase situaţii în care configuraţia grafului depinde de factori care nu sînt cunoscuţi la elaborarea lui sau care sînt presupuşi într-un anumit fel la elaborare şi se pot modifica pe parcurs. Exemplul cel mai tipic în acest sens îl constituie implicaţiile perioadei de timp friguros asupra configuraţiei grafului.

Să analizăm cazul executării faţadei la un bloc de locuinţe. Este ştiut faptul că nu este posibil a se lucra la faţade în perioada 15 noiembrie—15 martie. Din acest motiv, legislaţia în vigoare prevede că blocurile de locuinţe care se termină în acest interval pot fi recepţionate şi date în folosinţă fără faţada finisată. Există deci două variante de graf: fig. VI.17, *a* în cazul în care blocul se termină în afara intervalului 15 noiembrie—15 martie şi fig. VI.17, *b* în caz contrar.

Nodul A este un nod iniţial care impune condiţia ca în al doilea caz faţada să înceapă după 15 martie.

Cele două grafuri pot fi contopite în unul singur, reprezentat în fig. VI.18, prin folosirea nodului de comutaţie (comutator), reprezentat în figură printr-un oval.

Acţiunea acestui nod este următoarea:

— se calculează termenul cel mai devreme de realizare al nodului, ca pentru un eveniment obişnuit (el este egal cu termenul de terminare al activităţii „structura");

— se compară cu data înscrisă în nod, pentru a constata dacă aceasta este depăşită;

— dacă NU, se continuă calculul pe ramura cu NU, ignorîndu-se ramura cu DA;

— dacă DA, se continuă calculul pe ramura cu DA, ignorîndu-se ramura cu NU.

Întrebuinţarea acestui tip de nod este deosebit de utilă în cazul folosirii calculatoarelor electronice pentru efectuarea calculelor, permiţînd acestora să aleagă configuraţia grafului, în funcţie de rezultatele calculelor efectuate pînă la un punct dat.

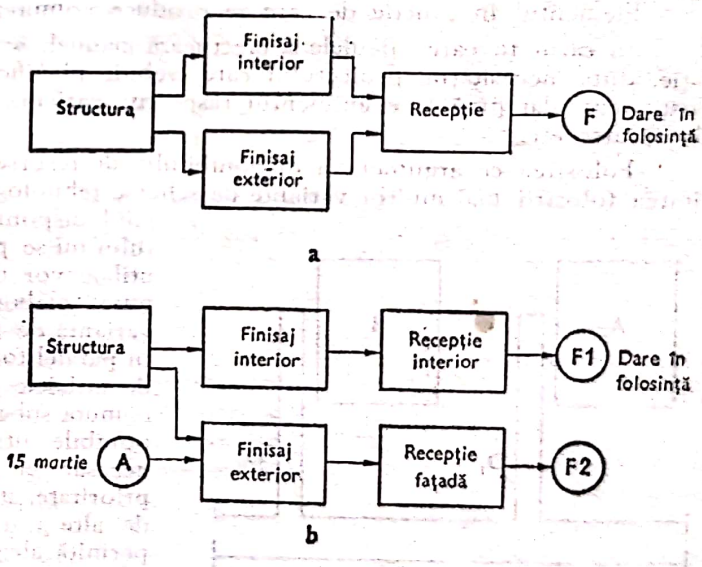


Fig. VI. 17

Aceste calcule se pot referi nu numai la termene, ca în exemplul dat, ci şi la costuri, la folosirea unor resurse etc.

În continuare se va analiza un exemplu în care comutaţia se produce în funcţie de drumul ales de un nod de tip „sau".

Figura VI.19 reprezintă un plan de situaţie a două construcţii *A* şi *B*, la care circulaţia se face pe drumurile D_1 şi respectiv D_2.

Începerea execuției construcțiilor este condiționată de terminarea drumului respectiv. Execuția fiecărui drum este condiționată la rîndul ei de execuția unor lucrări subterane, demolări etc., diferite la cele două drumuri, astfel încît la elaborarea grafului nu se știe care din cele două drumuri va fi primul gata.

Pe de altă parte este necesar să se pună în graf condiția că săpăturile la cele două obiecte nu se pot executa concomitent deoarece se folosește același utilaj. Așadar, fie că săpătura A condiționează săpătura B, fie invers.

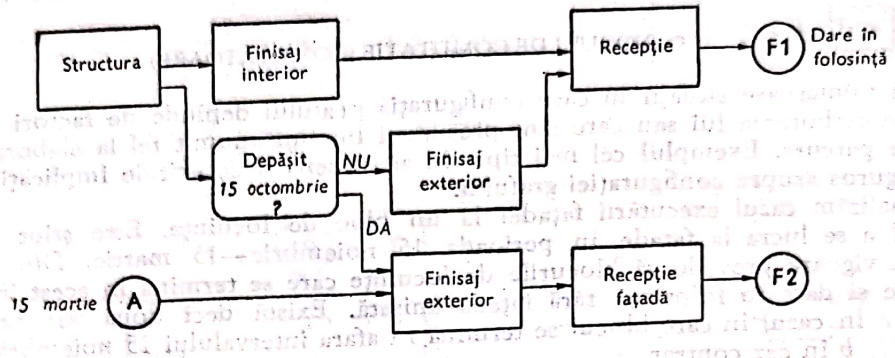


Fig. VI.18

Această logică poate fi reprezentată prin graful din fig. VI.20. Nodul „sau" S alege dintre termenele drumurilor D_1 și D_2 pe cel mai mic. În funcție de această alegere, ajungînd la nodul de comutație C se alege drumul de jos dacă D_1 se termină primul și drumul de sus dacă D_2 se termină primul.

Elementul în funcție de care se produce comutația se numește *argumentul comutației*.

În cazul în care calculele se efectuează manual, se poate folosi orice argument de comutație, după necesitățile proiectului care trebuie planificat, de exemplu: data evenimentului, costul cumulat pînă la evenimentul respectiv, varianta aleasă de un nod „sau", disponibilul de resurse etc.

Folosirea ca argument a disponibilului de resurse este legată în mod special de posibilitatea folosirii mai multor variante de scheme tehnologice în funcție, în mod special, de utilajul disponibil. Dacă în momentul elaborării grafului nu se pot cunoaște cu suficientă precizie ce utilaje vor fi disponibile la un moment dat, se vor putea elabora subgrafuri-variante pentru fiecare variantă de proces în parte, și acestea vor fi legate în paralel folosind noduri de comutație. În funcție de utilajele disponibile la data respectivă se va comuta subgraful corespunzător. Dacă există disponibile utilaje pentru mai multe variante este necesar să se indice calculatorului o ordine de prioritate, stabilită în funcție de cost, de durată sau de alte criterii urmărite de conducere, care să permită alegerea variantei preferabile.

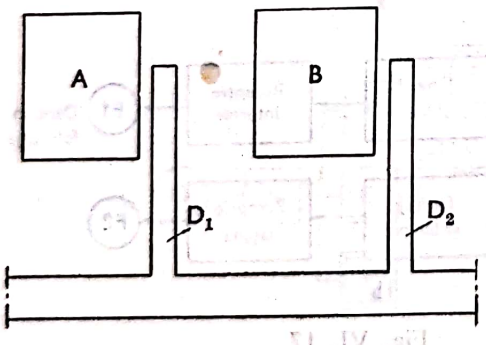


Fig. VI.19

Argumentul trebuie înscris în nod sau în apropierea nodului, în mod convenabil pentru fiecare situație în parte, convenția folosită trebuind să fie explicată într-o legendă.

În cazul în care calculele se efectuează cu calculatoare electronice nu se pot folosi decît argumente de comutație prevăzute în programul de calcul care urmează a fi întrebuințat, iar reprezentarea convențională a argumentului pe graf trebuie să corespundă de asemenea prevederilor programului.

Folosirea acestor tipuri de noduri în graf contribuie la o reprezentare mai fidelă a modului real în care se pune uneori problema în practică. Este adevărat că această folosire face apel la raţionamente mai delicate, motiv pentru care în situaţiile curente, şi mai ales cînd planificatorul nu are o experienţă prea îndelungată în elaborarea grafurilor, nu este necesar să se treacă la folosirea lor.

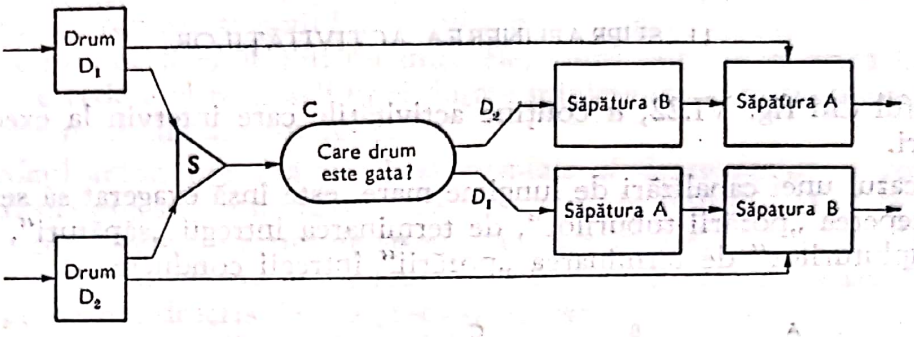


Fig. VI. 20

d. NODURI PROBABILISTICE

În paragraful precedent s-a arătat că un nod de comutaţie se comportă în graf ca un macaz, comutînd continuarea pe un drum sau altul în funcţie de un anumit argument, care depinde de rezultatele calculelor care se făceau asupra nodurilor precedente.

Există situaţii în practică în care comutarea trebuie făcută în funcţie de un argument care nu poate fi cunoscut în momentul planificării, ci numai după executarea efectivă a unei părţi din program.

Această situaţie apare în general în programe care comportă cercetări, studii, prospecţiuni geologice, descopertări şi în general în activităţi cu caracter nou, pentru care nu există o experienţă prealabilă.

În aceste situaţii, se pot face ipoteze privitoare la rezultatele care se pot obţine într-o anumită etapă a proiectului şi se concep variante de continuare a grafului pentru fiecare ipoteză în parte.

Nodul prababilistic se deosebeşte de nodul de comutaţie prin faptul că pentru fiecare drum care porneşte din el se atribuie o probabilitate, probabilitatea apariţiei rezultatului care va conduce la alegerea acelui drum.

Spre deosebire de ceea ce se întîmplă în cazul unui comutator, în cazul unui nod probabilistic calculele se continuă pe toate drumurile care pornesc din nod, rezultatele interpretîndu-se într-un mod special.

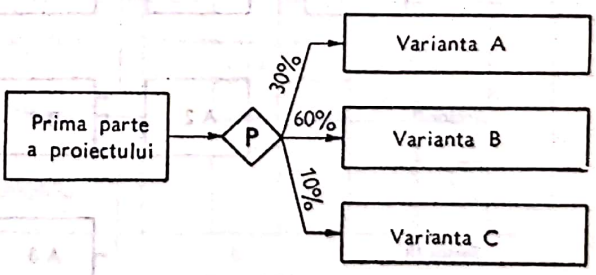


Fig. VI. 21

Schema generală a unui graf în care este folosit un nod probabilistic este reprezentată în fig. VI.21. Pentru exemplificare, putem considera o lucrare importantă la care s-a hotărît ca soluţia de fundare să fie aleasă numai după efectuarea săpăturilor. Pe baza studiilor geotehnice preliminare se consideră că există o probabilitate de 60% ca terenul să necesite aplicarea variantei *B*, de 30% ca terenul să necesite aplicarea variantei *A* şi de 10% ca varianta C să

fie cea necesară. În acest caz, activitatea care precede nodul probabilistic este „Săpături pentru fundații".

Acest tip de nod nu constituie un element fundamental pentru folosirea uzuală a grafurilor în construcții, domeniul lui de folosire fiind limitat la cazurile enumerate la începutul paragrafului.

11. SUPRAPUNEREA ACTIVITĂȚILOR

Graful din fig. VI.22, *a* conține activitățile care intervin la execuția unei canalizări.

În cazul unei canalizări de lungime mare, este însă exagerat să se condiționeze începerea „pozării tuburilor", de terminarea întregii „săpături", și începerea „umpluturilor" de terminarea „pozării" întregii conducte.

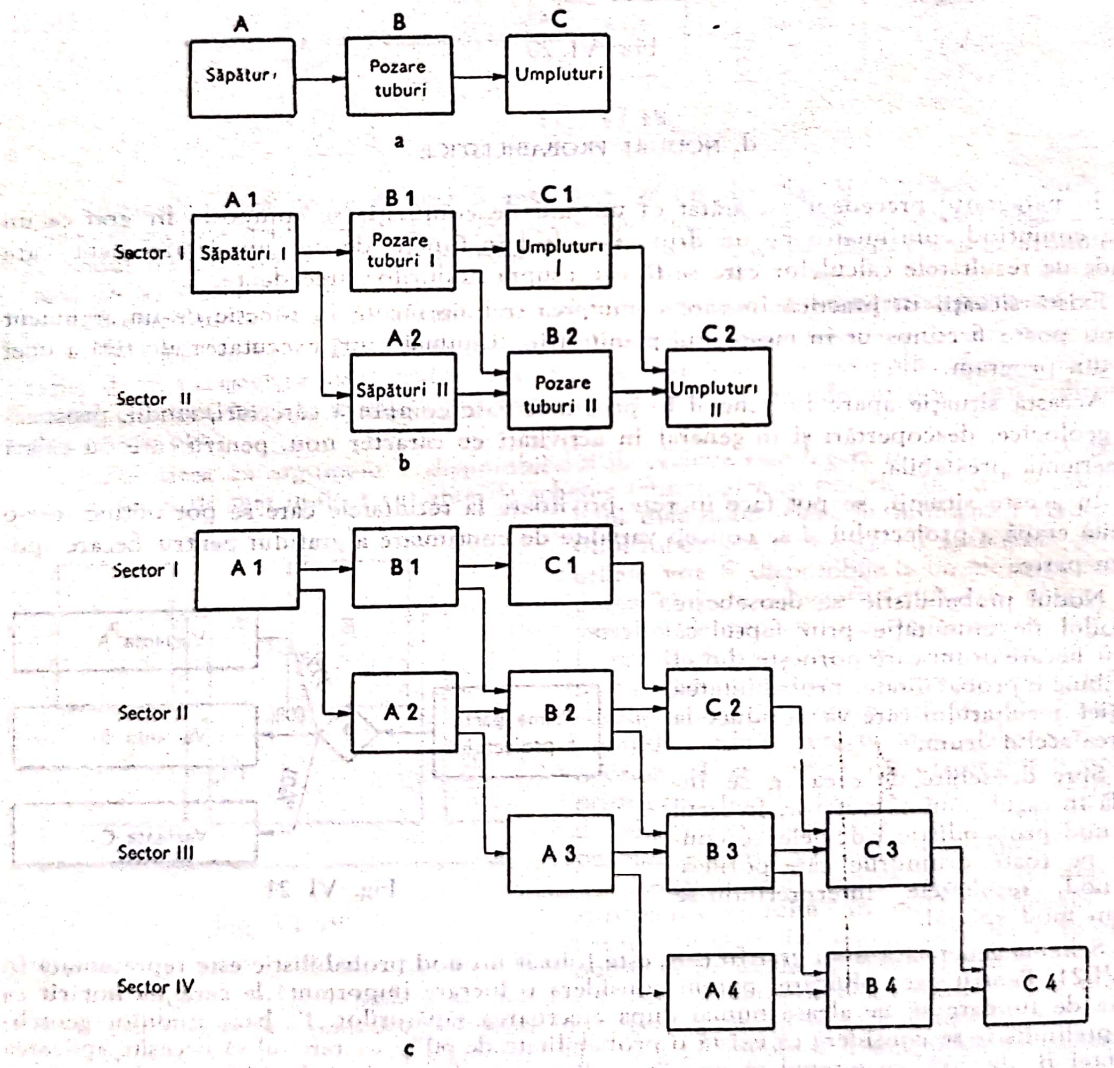


Fig. VI.22

Se pot înlătura aceste condiţionări nerealiste, considerînd canalul format din două sectoare *I* şi *II* şi defalcînd cele trei activităţi în cîte două operaţii corespunzătoare fiecărui sector, notate respectiv cu *I* şi *II*. Graful corespunzător este cel din fig. VI.22, *b*.

Este posibilă, evident, şi o împărţire mai detaliată, pe sectoare mai mici. Figura VI.22, *c* reprezintă graful în cazul a patru zone.

Sectoarele pot fi egale sau nu între ele. După cum se va arăta la cap. IX din punct de vedere al realizării unei durate minime există o anumită proporţie optimă între mărimile acestor zone.

Procedeul arătat prezintă pe lîngă avantaje şi dezavantajul că conduce la mărirea uneori excesivă a numărului de activităţi ale grafului. Dacă la un nivel inferior de conducere un astfel de sistem este uneori acceptabil sau chiar recomandabil, pentru nivelurile superioare, unde trebuie folosite activităţi foarte sintetice, procedeul descris devine greoi şi nepractic.

Pentru aceste situaţii există posibilitatea aplicării unor artificii.

1) Se interpune între două activităţi, care se succed şi care se pot suprapune, o activitate fictivă cu durata negativă; această durată se va lua egală cu durata de suprapunere (fig. VI.23 *a*, *b*). Convenim să numim acest tip de activităţi fictive *activităţi de suprapunere* (A.S.). Durata de suprapunere (în figură cu linii întrerupte) trebuie să fie mai mică decît fiecare din duratele activităţilor care se suprapun, în caz contrar s-ar creea situaţia imposibilă ca cea de a doua activitate să înceapă (fig. VI.24, *a*) sau să se termine înaintea celei dintîi (fig. VI.24, *b*).

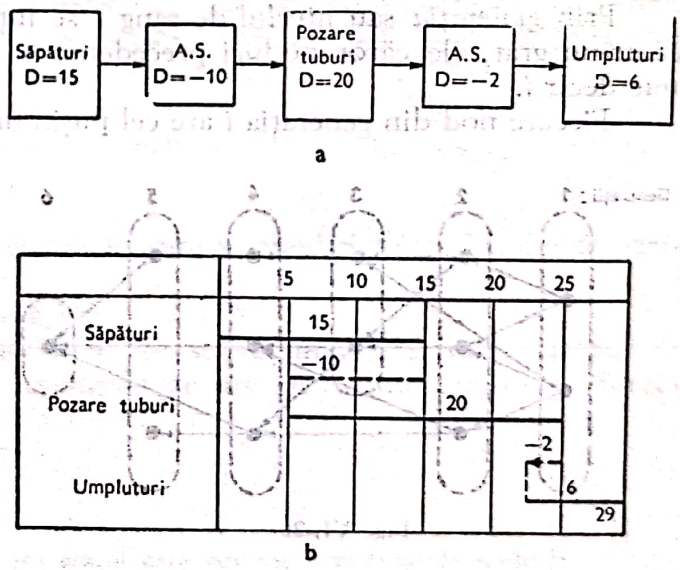


Fig. VI.23

2) Metoda precedentă are avantajul că nu se introduce în plus nici o noţiune fundamentală nouă faţă de cele cunoscute deja, activităţile de suprapunere fiind din punct de vedere matematic, asemănătoare cu activităţile propriu-zise, singura deosebire fiind aceea privind *semnul* duratei. În schimb, graful se complică prin faptul că se introduc activităţi noi.

Un alt procedeu care are avantajele şi dezavantajele inverse faţă de cel arătat este acela de a se introduce noţiunea de *durată pe arc*. Se admite astfel, că arcul nu reprezintă numai o condiţionare ci şi o durată minimă de timp între terminarea activităţii precedente şi începutul celei următoare. Durata poate fi şi negativă, obţinîndu-se astfel posibilitatea suprapunerii celor două activităţi. Durata 0 a arcului corespunde tipului uzual de condiţionare studiat pînă în prezent.

Figura VI.25 reprezintă graful din fig. VI.23, *a* transpus folosind noua convenție. Condiția stabilită mai înainte, ca durata de suprapunere să fie mai mică decît durata fiecăreia din cele două activități adiacente, este necesară și în acest caz.

Se convine în general ca:

— durata arcului să fie înscrisă în apropierea imediată a vîrfului arcului;

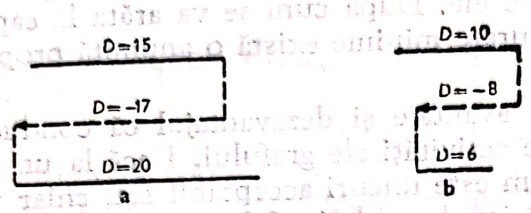


Fig. VI. 24

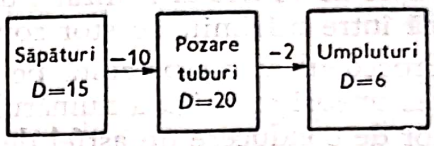


Fig. VI. 25

— în cazul unei condiționări obișnuite nu este necesar să se mai menționeze durata 0 pe arc.

Folosirea acestui sistem de reprezentare a suprapunerilor este condiționată de existența unui program corespunzător la calculator.

12. GENERAȚII ÎN GRAF

Prin *generația* sau *nivelul* de rang *i* se înțelege mulțimea tuturor nodurilor dintr-un graf, ale căror noduri precedente se găsesc în generațiile de rang mai mic decît *i*.

Fiecare nod din generația *i* are cel puțin un nod precedent în generația *i*—1.

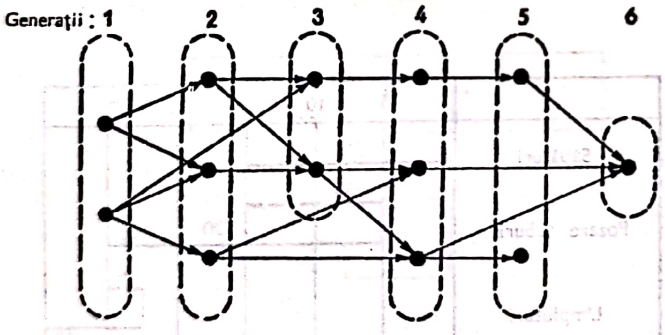


Fig. VI. 26

Generația *1* cuprinde toate nodurile care nu au alte noduri precedente (nodurile inițiale).

Generația *2* cuprinde toate nodurile care au ca noduri precedente numai noduri din generația *1*.

Generația *3* cuprinde toate nodurile care au ca noduri precedente numai noduri din generația *1* și cel puțin cîte un nod din generația *2* etc.

Desenînd graful astfel încît toate nodurile aceleiași generații să se găsească pe aceeași verticală, se obține o figură clară, avînd toate arcele în sensul stînga-dreapta. În acest fel se face „ordonarea pe generații", care este foarte utilă în practică (fig. VI.26).

Rezumat. Analizînd logica proiectului, s-a stabilit că:

a) orice proiect poate fi descompus, în mod mai mult sau mai puțin amănunțit, în părți componente numite *activități*;

b) aceste activităţi nu se pot desfăşura oricum, între ele existînd anumite *relaţii* care conduc la o anumită eşalonare;

c) aceste relaţii sînt:

— *relaţii logice* sau de *succesiune*, sau condiţionări;

— relaţii provocate de folosirea unor resurse comune numite *relaţii cumulative*.

Ansamblul activităţilor şi condiţionărilor dintre ele formează un *graf*. Activităţile se reprezintă prin *noduri* iar condiţionările prin *arce*.

Din punctul de vedere al unei anumite activităţi X, celelalte activităţi se împart în:

a) activităţi legate în serie cu X:

— activităţi precedente

— activităţi următoare;

b) activităţi *legate în paralel* sau *logic independente* sau *concurente* cu X.

Între cele din urmă şi activitatea X pot apărea sau nu relaţii cumulative.

O succesiune neîntreruptă de arce care pot fi parcurse păstrînd în permanenţă sensul fiecărui arc se numeşte *drum*.

Un drum care trece de două ori prin aceeaşi activitate se numeşte *circuit*. Existenţa unui circuit într-un graf de planificare este un nonsens şi denotă comiterea unei greşeli.

În afară de activităţi, mai pot fi figurate ca noduri în graf:

— *evenimente*, adică *momente* caracteristice, semnificative în desfăşurarea proiectului, în cele mai multe cazuri momentul terminării uneia sau mai multor activităţi; un rol special revine evenimentelor *iniţiale* (care nu au nici un nod precedent) şi *finale* (care nu au nici un nod următor);

— noduri-evenimente de tip „sau";

— noduri de conexiune, interne şi externe;

— noduri de comutaţie;

— noduri probabilistice.

Suprapunerea parţială a unor activităţi care se condiţionează logic este posibilă în trei feluri:

— prin descompunerea activităţilor;

— prin introducerea unor activităţi de suprapunere de durată negativă;

— prin folosirea sistemului cu *durate pe arc*, acordînd arcului o durată negativă.

Exerciţii

1) Elaboraţi şi ordonaţi pe generaţii graful care conţine următoarele noduri:

Nodul	Nodurile direct precedente:	Nodul	Nodurile direct precedente:
1	—	7	4
2	—	8	5
3	1	9	6
4	1,2	10	5, 6, 7
5	2	11	4, 7, 8, 1
6	2,3	12	9, 10, 11

Scanned with OKEN Scanner

Eliminați arcele supraabundente.

2) Introduceți în graful de la punctul precedent o activitate suplimentară 13, având:
— activități direct precedente 6,7;
— activități direct următoare 11.

3) Excludeți din graful de la pct. 2 activitatea nr. 7.

4) Detectați erorile de logică din succesiunea de operații:

Noduri	Noduri precedente	Noduri	Noduri precedente
1	—	5	2
2	1,7	6	1
3	2,6	7	3, 4, 5
4	2		

5) a) Enumerați toate drumurile care unesc nodurile 1 și 12, 2 și 12 din graful de la exercițiul 1.

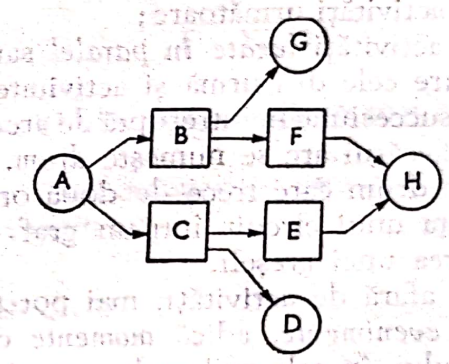
b) Enumerați separat nodurile precedente următoare și independente față de nodul 6, în cazul exercițiului 1.

c) La fel ca la punctul b dar pentru nodul 8.

6) Simplificați aspectul grafului din fig. VI. 27.

7) Compuneți un graf din cele trei subgrafuri din fig. VI. 28.

8) La fel ca în exercițiul precedent, dar înlocuind subgraful *c* din fig. VI.28, cu cel din fig. VI.29.



a

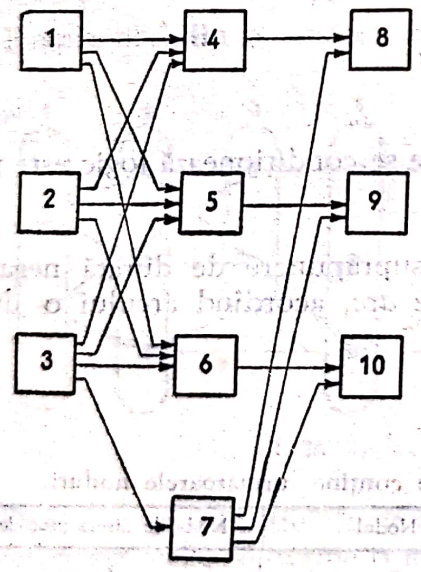


Fig. VI.27

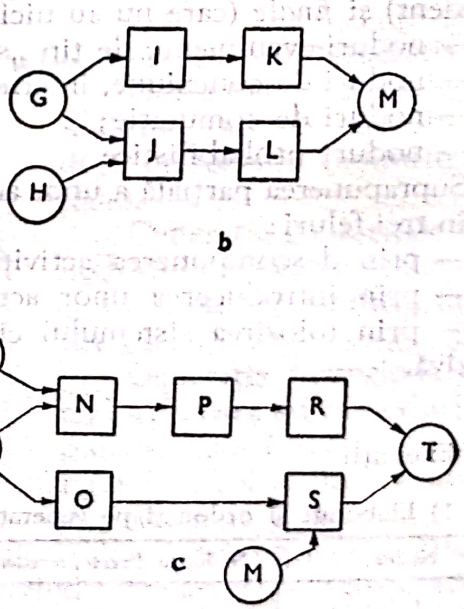


Fig. VI. 28

Analizați cu atenție graful rezultat și relevați eventuale greșeli.

9) Analizați grafurile din fig. VI.30, *a* și *b* și puneți în evidență deosebirile de fond între ele.

10) Referitor la graful din fig. VI.30, *a*, detectaţi care din următoarele propoziţiuni sînt false:

— *1* şi *2* sînt noduri iniţiale;

— *3* este precedentul lui *4* şi *6*;

— *6* este legat în serie cu *4*;

— *8* este legat în paralel cu *9* şi *10*;

— *11* este nod final;

— *2—3—4—8—5—2* este un circuit;

— *1—2—3—4—11* este un drum;

— *1—2—5—4—8—9—7—11* este un drum.

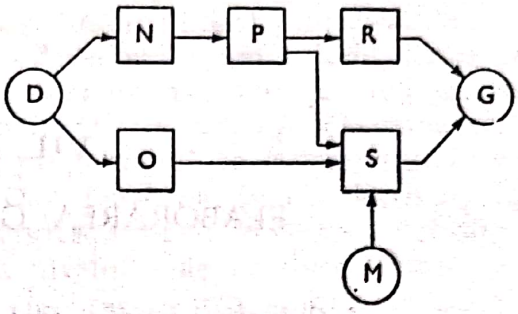


Fig. VI. 29

11) Construiţi graful cu şase activităţi, care corespunde condiţiilor:

— *A* condiţionează pe *E*;

— *D* este condiţionat de *A* sau de *B*;

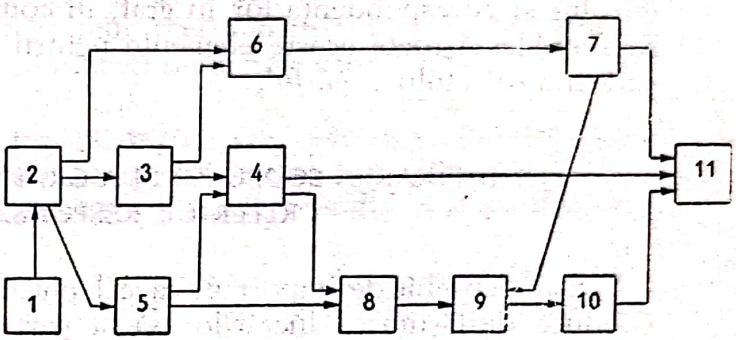
— *F* este condiţionat de *B* şi *C*.

12) Construiţi graful cu şase activităţi, care corespunde condiţiilor:

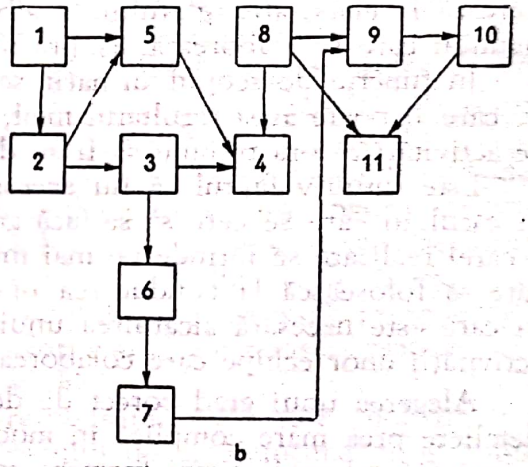
— *D* este condiţionat de operaţia care se termină prima dintre *A*, *B*, *C*;

— *E* este condiţionat de operaţia care se termină a doua între *A*, *B*, *C*;

— *F* este condiţionat de ultima dintre activităţile *A*, *B*, *C*.



a



b

Fig. VI. 30

13) a) Graful din fig. VI.31 să fie transformat, considerînd că activităţile *B*, *C*, *D* se pot descompune în cîte două activităţi.

b) La fel ca la pct. a, dar cu descompunerea activităţilor *B*, *C* şi *D* în cîte trei activităţi.

c) Considerînd că duratele activităţilor sînt:

$$B=6; \quad C=9; \quad D=15,$$

să se reprezinte prin metoda duratei pe arc posibilitatea suprapunerii celor trei activităţi în cazul în care lucrarea este împărţită în trei zone egale.

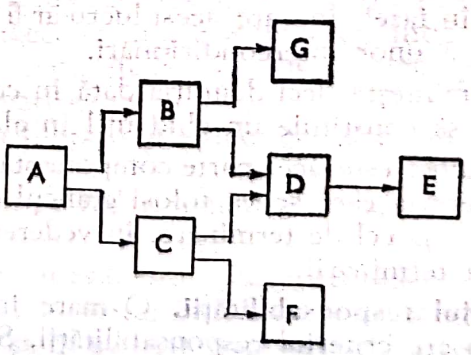


Fig. VI. 31

VII

ELABORAREA GRAFULUI

După ce în capitolul precedent au fost analizate elementele logice ale proiectului și corespondența lor în graf, în continuare se va analiza modul în care se asamblează toate aceste elemente pentru a se obține schema logică a desfășurării proiectului: *graful*.

1. FIXAREA SCOPULUI ȘI A GRADULUI DE AMĂNUNȚIME. CRITERIUL RESPONSABILITĂȚILOR

Este deosebit de important ca cel puțin un membru al colectivului care va conduce desfășurarea lucrărilor să ia parte la elaborarea grafului. Unul din motivele cele mai importante ale acestei cerințe este necesitatea ca echipa care lucrează la elaborarea grafului să aibă o idee clară și precisă asupra scopului planului care se elaborează, asupra nivelului de conducere la care va fi folosit.

În funcție de scopul urmărit se va putea stabili: gradul de aproximație pe care îl poate avea rezultatul final, gradul de detaliere a activităților, tipurile de activități cărora trebuie să li se dea o detaliere mai mică sau mai mare etc.

Este intuitiv faptul că nu aceeași detaliere poate fi luată în considerație în cazul în care se cere să se facă graful de coordonare al unei mari investiții, a cărei realizare se întinde pe mai mulți ani, ca în cazul în care se cere graful care să folosească la conducerea operativă de către maistru, sau ca în cazul în care este necesară alcătuirea unui graf pentru stabilirea unui orar zilnic al activității unor echipe care colaborează la un proces cu caracter ciclic.

Alegerea unui grad corect de detaliere este foarte importantă deoarece o detaliere prea mare complică în mod inutil aspectul grafului și calculele și nu permite conducerii să își formeze cu ușurință vederea de ansamblu necesară; o detaliere prea redusă, prea grosieră, nu permite conducerii să intervină și să controleze în fazele în care acest lucru ar fi fost necesar și conduce la pierderea din vedere a unor intercondiționări.

Se reamintește deci definiția dată în cap. V noțiunii de activitate, definiție care poate să constituie un ghid util în alegerea gradului de detaliere:

Activitatea este acea parte componentă a unui proiect pentru care, la nivelul de conducere la care se va folosi graficul este necesar să se cunoască termenul de începere și cel de terminare, în vederea emiterii ordinului de începere și a controlului terminării.

Criteriul responsabilității. O mare importanță în stabilirea împărțirii în activități o are criteriul responsabilității. Stabilirea precisă a responsabilităților

constituie unul din principiile de bază ale organizării ştiinţifice. Acest principiu se aplică în ordonanţare într-un mod deosebit de simplu şi de eficace, respectînd regula: „*Fiecare activitate trebuie să aibă un singur responsabil general*"

Prin *responsabilul general al activităţii* se înţelege persoana sau unitatea care răspunde faţă de responsabilul programului de îndeplinirea activităţii respective. *Responsabilul programului* este persoana (sau colectivul) însărcinată cu coordonarea activităţilor care alcătuiesc programul respectiv şi care răspunde de îndeplinirea programului în faţa nivelului de conducere imediat superior.

Aşa de exemplu, într-un graf elaborat pentru studiul orarului zilnic al echipelor care conlucrează la construcţia unui bloc de locuinţe cu ajutorul cofrajelor spaţiale, responsabilul programului este maistrul care coordonează direct aceste echipe; şefii echipelor sau diferiţi muncitori care lucrează individual sînt responsabili ai activităţilor.

În cazul unui graf pe întregul obiect, activitatea „execuţie suprastructură cu ajutorul cofrajelor spaţiale" are ca responsabil pe maistrul care coordonează direct această activitate, în timp ce responsabilul programului este şeful obiectului respectiv.

În sfîrşit, acesta din urmă este responsabilul celor cîteva activităţi referitoare la obiectul respectiv în graful de coordonare a investiţiei, responsabilul acestui graf fiind şeful şantierului care execută investiţia.

Exemplele date în continuare ilustrează felul în care criteriul responsabilităţii acţionează asupra împărţirii pe activităţi a proiectului:

— activităţile „montare cale rulare" şi „montare macara" ar putea fi contopite într-una singură, deoarece se execută de obicei legat; ele trebuie totuşi despărţite atunci cînd se realizează de responsabili diferiţi;

— „executarea acoperişului-terasă" al unei clădiri ar putea fi considerată în graful investiţiei ca o singură activitate deoarece are un singur responsabil: lotul de izolaţii; totuşi, datorită faptului că o parte a acestei activităţi (execuţia barierei de vapori), condiţionează o serie de lucrări de finisaj de la ultimul nivel, care se execută de alt responsabil, este necesară prevederea a două activităţi distincte privind execuţia fazelor I şi II ale terasei; prin aceasta s-a pus în evidenţă *interferenţa între responsabili.*

Urmărirea atentă a interferenţei între responsabili constituie unul din cele mai importante aspecte în determinarea gradului de amănunţime al grafului.

În ceea ce priveşte regula responsabilităţii unice, trebuie menţionate aici şi unele dificultăţi în aplicarea ei în anumite cazuri. Este vorba în mod special de faptul că în unele procese de execuţie întrepătrunderea între activităţile a doi responsabili diferiţi este atît de mare, încît la elaborarea unui graf coordonator de investiţie există două alternative:

— fie se respectă regula responsabilităţii şi atunci graful rezultă prea amănunţit;

— fie nu se respectă regula şi se prevăd activităţi globale, care se execută de mai mulţi responsabili.

Un exemplu de astfel de situaţie îl constituie întrepătrunderea între activităţile de finisaj şi cele de instalaţii în interiorul clădirilor. Aceste activităţi se execută de două unităţi separate şi în general responsabilul activităţilor de

Scanned with OKEN Scanner

instalații nu este subordonat celui care răspunde de execuția obiectului din partea antreprenorului general (subordonarea subantreprizei față de antreprenorul general are loc în mod obișnuit la nivelul șantierului, nu al obiectului); în acest fel responsabilul obiectului nu poate răspunde efectiv de execuția activităților de instalații.

Într-o asemenea situație este recomandabil să se facă o derogare de la regula responsabilității unice pentru a se evita o detaliere exagerată a grafului coordonator, cu condiția însă de a se elabora și un graf amănunțit pe obiect din care să rezulte clar responsabilitățile.

Gradele convenționale de amănunțime. Grafurile folosite în planificarea investițiilor se pot clasifica în mod convențional în funcție de adîncimea detalierii în trei grade principale:

Gradul I: *grafuri coordonatoare*, elaborate la nivelul investițiilor, în scopul coordonării factorilor care cooperează la realizarea investiției (beneficiari, proiectanți, executanți, furnizori, foruri de avizare etc.). Acest graf constituie instrumentul de planificare la nivelul conducerilor instituțiilor respective și la nivelul conducerii șantierului — antreprenor general. Responsabilii activităților privind execuția propriu-zisă sînt în general șefii de lot și de obiect și eventual chiar conducătorii de șantiere.

Gradul II: *grafuri pe obiect*, elaborate la nivelul unui obiect. Responsabilii de activități sînt în general șefi de echipă sau de brigadă. Scopul principal al acestor grafuri este coordonarea echipelor la nivelul responsabilului obiectului și într-o anumită măsură la nivelurile superioare.

Similare grafurilor pe obiect în execuție, sînt în proiectare grafurile de proiect, în care apar ca activități calculele tehnice, desenele, elaborarea documentației economice, formalități interne.

Gradul III: *grafuri pe proces tehnologic*, elaborate la nivelul unui singur proces tehnologic ciclic, în scopul studierii lui amănunțite, în vederea reducerii duratei ciclului, a reducerii numărului de muncitori, a îmbunătățirii calității, a reducerii cheltuielilor etc.

Responsabilii de activități sînt în general muncitori individuali sau șefi de formații minime de lucru.

Este neîndoielnic faptul că această clasificare are un caracter convențional, că se pot elabora grafuri cu grade intermediare de detaliere. Se va vedea însă din exemplele care vor urma că în afară de scop și de gradul de detaliere, fiecare clasă de grafuri are și alte caracteristici specifice, care o diferențiază de celelalte.

2. ZONAREA, SECTORIZAREA ȘI ÎNTOCMIREA LISTEI DE ACTIVITĂȚI

Primul pas în elaborarea grafului îl constituie deci descompunerea proiectului în activități; această acțiune se materializează prin întocmirea *listei de activități*.

În acest scop are loc, dacă este cazul, o activitate pregătitoare de descompunere a proiectului în zone. Prin *zonă* se înțelege o parte mare a proiectului,

în cadrul căreia activitățile au o anumită caracteristică importantă comună, ca de exemplu:

— se desfășoară într-un anumit spațiu sau teritoriu bine delimitat (sector), (de exemplu: împărțirea activităților de execuție pe sectoare ale construcției, cum ar fi niveluri, tronsoane, travee etc. sau pe sectoare ale teritoriului, cum ar fi un aliniament de drum sau de conductă subterană între două intersecții etc.);

— au un specific comun (de exemplu: zona activităților de proiectare, zona activităților de avizare, zona activităților de organizare de șantier, zona activităților de execuție etc.);

— au un responsabil comun (de exemplu: zona activităților subantreprizei X);

— folosesc o resursă importantă comună (de exemplu: zona activităților care necesită folosirea macaralei).

Împărțirea în zone și eventual subzone a activităților de execuție pe criteriul teritorial poartă denumirea de *sectorizare*, zonele sau subzonele numindu-se în acest caz *sectoare*.

Stabilirea sectoarelor se poate face de la caz la caz după diferite criterii:

a) pe baza delimitării *structurale*: împărțirea în etaje, tronsoane, travee;

b) pe baza *specificului tehnic*; de exemplu în cadrul unui etaj al unui cămin de studenți grupurile sanitare pot fi considerate sectoare separate datorită specificului diferit al lucrărilor față de restul etajului; în cazul unei conducte, căminele de vizitare, traversările sau subtraversările de ape și de drumuri etc. este bine să fie considerate sectoare separate de sectoarele conductei propriu-zise;

c) pe considerente *cantitative* sau de *durată* de execuție; se poate conveni să se împartă construcția astfel încît durata unei activități în cadrul unui sector să nu depășească o săptămînă;

d) pe considerente *organizatorice*; de exemplu în funcție de împărțirea lucrării între mai multe șantiere sau loturi, în funcție de posibilitățile întreruperii circulației în cazul lucrărilor edilitare pe artere circulate etc.

Sectorizarea este în funcție, evident, de gradul grafului. Într-un graf coordonator un obiect constituie în general un sector, în cadrul unui graf de gradul II, sectorul poate fi de exemplu un nivel al unui tronson, iar în cadrul unui graf de gradul III, sectorul poate fi o travee, o cameră.

Se recomandă ca lista de activități să fie întocmită pe zone.

Elaborarea listei presupune o bună cunoaștere a proiectului, a proceselor tehnologice specifice proiectului și organizației de construcții, a procedurilor administrative implicate în desfășurarea proiectului.

De un ajutor prețios poate fi întotdeauna consultarea listei de activități la alte lucrări similare, bine studiate, și în mod special consultarea grafurilor *tip*, privind anumite categorii de obiecte (locuințe, școli), anumite procese tehnologice (de exemplu: montarea unei hale prefabricate, execuția unei canalizări etc.) sau anumite proceduri administrative (de exemplu: graful tip privind avizarea proiectelor, graful tip privind contractarea etc.).

Scanned with OKEN Scanner

Elaborarea listei de activități constituie (în mod special în cazul grafurilor pe obiect), un pas important în precizarea tehnologiei ce va fi adoptată, indiferent dacă această precizare se produce în institutul de proiectări sau în cadrul întreprinderii de execuție.

De exemplu, în această fază trebuie să se precizeze mijlocul de ridicare pe verticală care va fi folosit, tipul de schelă care va fi folosită pentru fațadă (tubulară sau suspendată) etc., în funcție de posibilitățile constructorului.

În cazul în care constructorul are în principiu mai multe variante posibile și alegerea ei depinde de perioada în care va avea loc procesul respectiv, deci nu se va putea stabili decît în urma unui prim calcul al programului, este necesar fie să se prevadă pentru început tehnologia cea mai convenabilă rămînînd să se verifice ulterior dacă se va dispune la timpul respectiv de mijloacele necesare, fie să se facă variante de liste pentru diferitele procese posibile, iar la elaborarea grafului să se folosească tehnica *nodului de comutație*, care să permită calculatorului electronic să aleagă varianta corespunzătoare în funcție de resursele disponibile.

Dacă la elaborarea listei există oarecare dubii în ceea ce privește amănuntimea descompunerii activităților, este recomandabil să se opteze pentru varianta mai amănunțită. Această recomandare se bazează pe constatarea făcută de numeroși autori și specialiști, că *cele mai multe din eșecurile înregistrate în încercările de folosire a grafurilor în planificare s-au datorat unei insuficiente detalieri.* De asemenea, este intuitiv faptul că este mult mai simplă corectarea unui graf prea amănunțit prin contopirea activităților din cadrul diferitelor grupe de activități care nu prezintă interferențe de responsabilități, decît să se procedeze în sens invers la descompunerea unei activități care conține interferențe.

Ca o limită a gradului de amănuntime este recomandabil să se țină seama că un graf mai mare de 500 activități se urmărește greu de persoanele care nu au participat la elaborarea lui, iar de la 1 000 de activități în sus, devine greoi chiar pentru cei care l-au construit . Aceste limite orientative se referă la un graf cu o sistematizare suficient de bună. În cazul unui graf cu o înaltă sistematizare, construit prin asamblarea de subgrafuri standard, aceste limite pot crește.

Un procedeu foarte recomandabil este acela de a se elabora grafurile în ordinea descrescătoare a gradului de amănuntime, astfel încît, de fapt să se treacă de la un grad de amănuntime la altul prin comasarea judicioasă a activităților; în felul acesta se cunosc bine interferențele între activități și între responsabili precum și eventualele activități care, deși ar fi putut fi contopite cu altele la o analiză superficială, trebuie păstrate totuși independente și în noul graf, pentru a sta în atenția conducerii.

Din păcate acest procedeu nu este întotdeauna aplicabil, deoarece grafurile de ansamblu trebuie elaborate uneori înainte de a se fi putut studia și elabora grafurile pe obiect. Aceasta nu împiedică ca grafurile coordonatoare să fie corectate la nevoie în momentul în care s-a terminat elaborarea grafului de detaliu („de obiect" sau „de proiectare"), pentru punerea lor în concordanță.

După elaborarea listei, fiecărei activități i se atribuie un cod. Cel mai simplu cod îl constituie numărul de ordine de pe listă.

Scanned with OKEN Scanner

3. ELABORAREA GRAFULUI PRIMAR

a. GRAFUL PRIMAR

Se numeşte *graf primar* sau *graf iniţial* varianta de graf asupra căreia se fac primele calcule pentru stabilirea programului (fie manual, fie la calculator). În urma rezultatelor acestor calcule, graful primar va fi modificat în vederea obţinerii unui program mai bun, devenind astfel *graf îmbunătăţit.*

Nu există o regulă universal valabilă privind modul în care să se înceapă şi ulterior să se continue elaborarea unui graf.

Cînd procesul care se planifică este bine cunoscut nu există motive să nu se înceapă elaborarea de la prima activitate şi să se continue desenarea nodurilor în ordinea naturală, punîndu-se după figurarea fiecărei activităţi întrebarea: *„ce activităţi mai pot fi începute după terminarea acesteia?*

După figurarea unei activităţi pe planşă, aceasta se marchează (bifează) cu un semn oarecare în listă.

În procesele mai puţin cunoscute, poate să fie mai raţional ca desenarea grafului să se facă pornind de la nodul final, punîndu-se, pentru fiecare activitate deja figurată în graf, întrebarea: *„ce activităţi ar trebui să fie terminate înainte de începerea acesteia?"* Şi în acest procedeu, activităţile figurate în graf se marchează într-un fel oarecare pe listă. Aplicarea acestui procedeu conduce la grafuri foarte corecte şi complete.

Un alt procedeu este acela de a se figura activităţile în ordinea în care se găsesc în listă, care este de cele mai multe ori întîmplătoare.

Unii autori recomandă ca înainte de a se trece la desenarea propriu-zisă a grafului, lista de activităţi să fie completată cu două coloane, în care să se înscrie în dreptul fiecărei activităţi codurile activităţilor care o condiţionează, respectiv codurile activităţilor care sînt condiţionate de activitatea respectivă.

În cursul elaborării grafului, lista de activităţi constituie un ghid util,dar ea nu trebuie considerată ca fiind nemodificabilă. Dimpotrivă, de cele mai multe ori în cursul elaborării grafului apar idei noi şi lista trebuie modificată în consecinţă prin adăugarea, ştergerea, descompunerea, contopirea sau schimbarea unor activităţi.

În practică elaborarea grafului primar comportă două-trei etape intermediare: o primă schiţă, care rezultă de multe ori foarte încărcată şi neclară, o a doua variantă redactată pe baza primei schiţe prin ordonare pe niveluri şi eliminarea arcelor supraabundente, după care în funcţie de îmbunătăţirile ce se aduc acestei variante, este necesară de cele mai multe ori o nouă redesenare.

b. MACROGRAFURI

În unele cazuri, înainte de a se trece la elaborarea amănunţită a grafului, este deosebit de util să se redacteze un graf foarte sumar, foarte grosier, care să constituie osatura viitorului graf. Acest tip de graf se numeşte *macrograf.*

În cazul unui grafic de planificare a unei investiţii, macrograful conţine în general subgrafurile din care va fi format graful şi eventual principalele relaţii între acestea. Subgrafurile sînt figurate prin dreptunghiuri mari.

Scanned with OKEN Scanner

În fig. VII.13 se va putea urmări o astfel de schemă pentru un bloc de locuințe în care nu sînt figurate legături.

În cazul grafurilor care se referă la acțiuni diverse, cum ar fi acțiuni de cercetare, introducerea în producție a unor procedee tehnologice noi etc., caracterizate în general printr-o mare diversitate, alcătuirea macrografului trebuie evident să țină seama de specificul problemei.

Este foarte recomandabil ca macrograful să fie conceput *chiar de către persoana care coordonează întregul proiect* și să fie apoi trimis la nivelurile inferioare pentru detalierea subgrafurilor corespunzătoare. Acest procedeu este foarte eficace pentru mobilizarea cadrelor de la nivelurile subordonate în vederea studierii problemei cu ajutorul grafurilor, punîndu-le în același timp la îndemînă o bază comună de discuții în vederea coordonării subgrafurilor respective.

Figura VII.1 reprezintă macrograful corespunzător acțiunii de introducere a sistemului de construcții cu cofraje spațiale la o întreprindere.

După cum se vede, evenimentele principale au primit termene orientative, iar fiecare activitate are indicat responsabilul.

Este important de reținut faptul că spre deosebire de grafurile cu grad mic de detaliere (cum ar fi grafurile de gradul I), macrografurile prezintă un grad mare de aproximare în mod special datorită faptului că nu conțin toate interferențele între activități. După cum se vede din fig. VII.1, unele activități nici nu au prevăzute condiționări. Toate acestea se datorează faptului că el constituie o improvizație, o schiță al cărui rol este numai de a sta la baza analizei viitoare. Macrograful poate fi considerat ca o temă de studiu pe care conducerea o dă spre amănunțire responsabililor pe care îi numește chiar cu ocazia elaborării macrografului.

c. SUBGRAFURI

În primii ani ai folosirii metodei drumului critic, încercîndu-se reprezentarea întregului graf pe o singură planșă, desenele rezultau de dimensiuni foarte mari (referiri la grafuri de peste 6 m lungime se întîlnesc destul de des în literatura de specialitate), din care cauză erau greu de manipulat, de expus și de urmărit.

Din acest motiv tehnica reprezentării grafului pe porțiuni de dimensiuni convenabile, numite *subgrafuri* are o mare importanță practică.

Pentru reprezentarea condiționării dintre două activități care se găsesc în două subgrafuri diferite se folosesc *noduri de conexiune* (v. și cap. VI. pct. 10, b).

În fig. VI.15, s-a ilustrat modul în care un graf poate fi reprezentat descompus în două subgrafuri.

În cazurile practice, în care este necesar ca graful să fie descompus într-un număr mare de subgrafuri, se impune o anumită sistematizare a acestora, care să ușureze urmărirea lor:

1) Fiecare graf trebuie să primească un număr de ordine format de obicei din două cifre: 01, 02 etc.

2) Activitățile se numerotează în cadrul fiecărui subgraf în parte. Aceasta permite ca subgrafurile să fie întocmite și numerotate în mod independent de

Scanned with OKEN Scanner

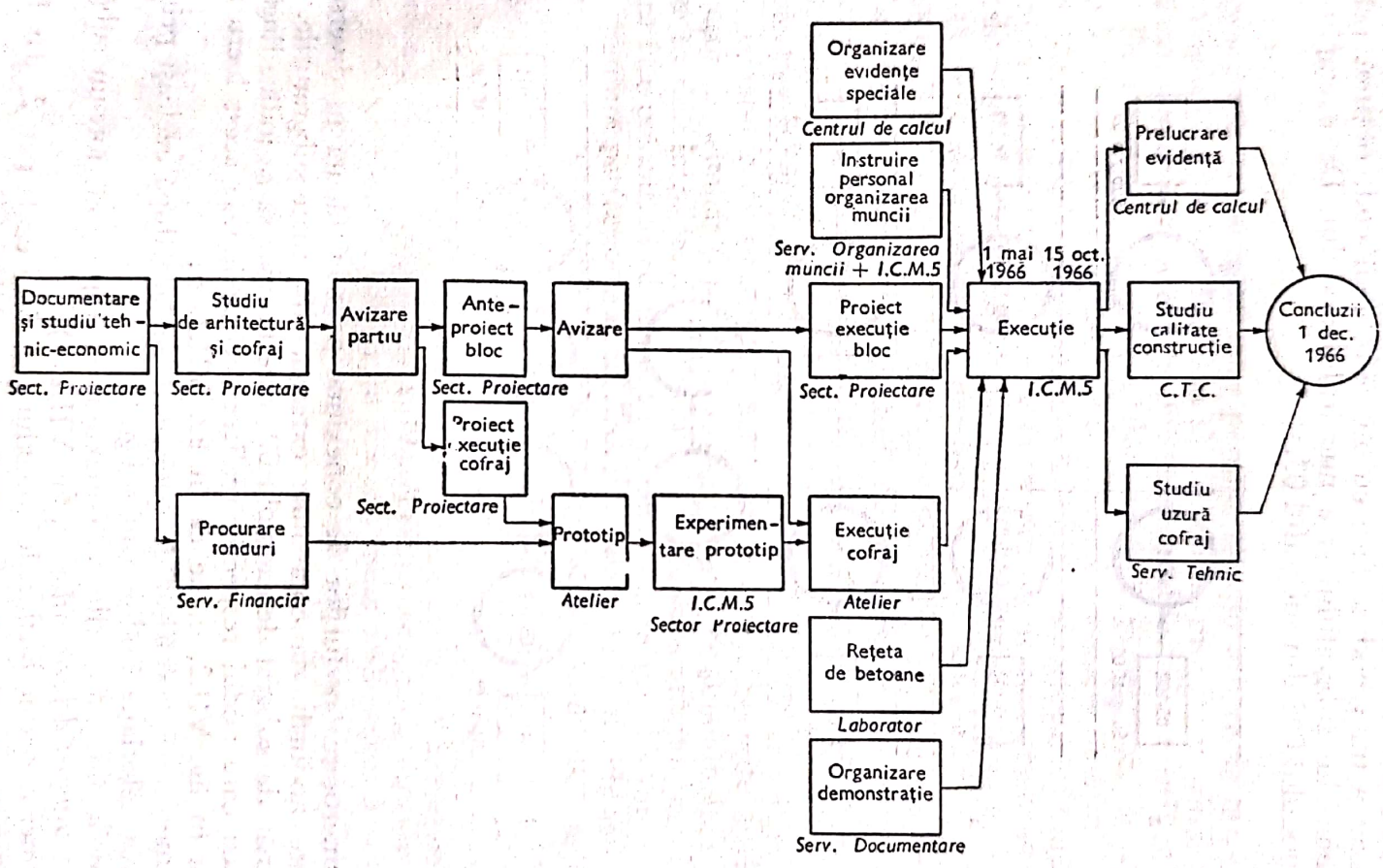

Documentare și studiu teh - nic-economic
Sect. Proiectare
Studiu de arhitectură și cofraj
Sect. Proiectare
Avizare partiu
Ante - proiect bloc
Sect. Proiectare
Avizare
Proiect execuție cofraj
Sect. Proiectare
Procurare tonduri
Serv. Financiar
Prototip
Atelier
Experimen - tare prototip
I.C.M.5
Sector Proiectare
Organizare evidențe speciale
Centrul de calcul
Instruire personal organizarea muncii
Serv. Organizarea muncii + I.C.M.5
Proiect execuție bloc
Sect. Proiectare
Execuție cofraj
Atelier
Rețeta de betoane
Laborator
Organizare demonstrație
Serv. Documentare
1 mai 1966
15 oct. 1966
Execuție
I.C.M.5
Prelucrare evidență
Centrul de calcul
Studiu calitate construcție
C.T.C.
Studiu uzură cofraj
Serv. Tehnic
Concluzii 1 dec. 1966

Fig. VII.1

persoane diferite. În funcție de numărul de activități din cel mai mare subgraf, se adoptă pentru numerotarea nodurilor numere de două sau trei cifre, de exemplu 01, 02 ... sau 001, 002 etc.

Identificarea unui nod se face cu ajutorul unui cod, obținut prin juxtapunerea numărului subgrafului și a numărului nodului. De exemplu 03—087 este codul nodului 087 din subgraful 03.

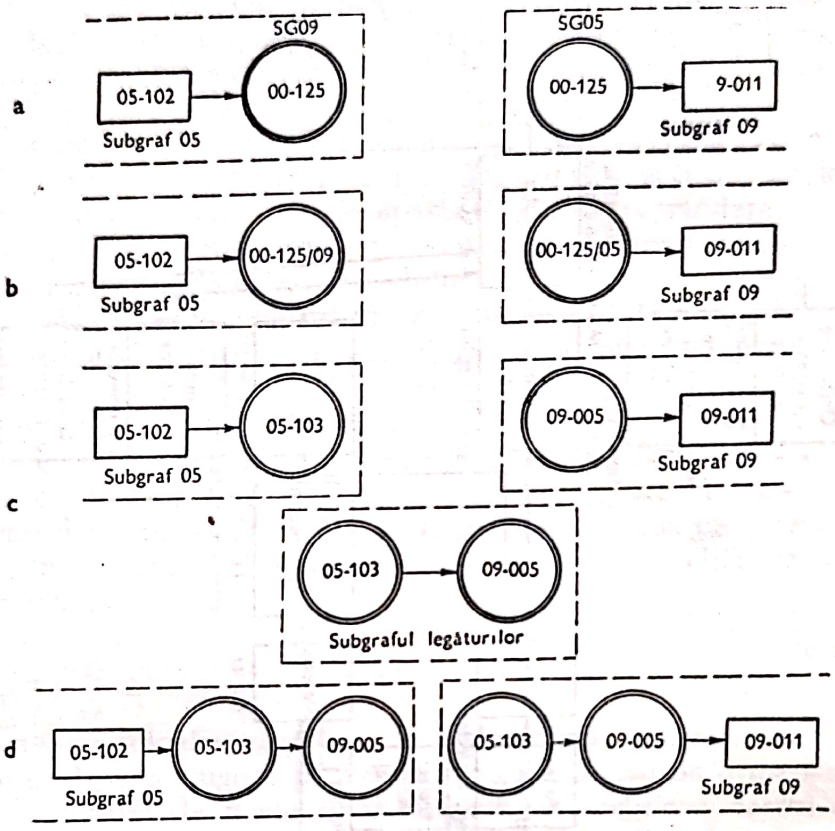


Fig. VII.2

3) Numerotarea nodurilor de conexiune poate fi făcută în diverse feluri:

— toate nodurile de conexiune externă, din toate subgrafurile, primesc același număr de subgraf de exemplu 00; este necesar să se indice lîngă nod și subgraful cu care nodul respectiv realizează conexiunea; acest lucru se poate face fie ca în fig. VII.2, *a*, fie ca în fig. VII.2, *b*;

— numerotarea nodurilor de conexiune se face după aceleași principii cu numerotarea celorlalte noduri din subgraf.

Legăturile între nodurile de conexiune se reprezintă într-un subgraf special, numit *subgraful legăturilor* (v. fig. VII.2, *c*).

— numerotarea nodurilor de conexiune se face ca la pct. 2, dar legăturile se reprezintă pe fiecare subgraf în parte (v. fig. VII.2, *d*).

Procedeul este cel care permite integrarea automată a grafului (cu ajutorul calculatorului electronic), prin asamblarea de subgrafuri standard.

Ceea ce este important în practică este ca, indiferent de procedeul care se alege, el să fie cunoscut de toți cei ce folosesc graful. De asemenea, este recomandabil ca un același nod de conexiune să nu fie folosit pentru a indica legături între mai mult de două subgrafuri.

d. SUBGRAFURI STANDARD

Tehnica folosirii subgrafurilor permite o raționalizare de mare importanță: folosirea *subgrafurilor standard* sau *tip*. Anumite procese prezintă o succesiune identică sau aproape identică a activităților în diferitele situații în care se desfășoară. De exemplu: procedurile de avizare a proiectelor, de contractare a investițiilor etc., au loc întotdeauna în aceeași succesiune pentru o anumită categorie de investiții; montarea unei hale din prefabricate, execuția unui drum cu o anumită structură, finisarea unui anumit tip de apartament etc., toate procesele tehnologice se pretează cu ușurință la tipizare și prin urmare la ilustrarea lor cu ajutorul unor subgrafuri standard.

Subgrafurile standard pot fi incluse în același graf de mai multe ori, de exemplu subgraful executării structurii de rezistență pe un nivel se repetă în graful construcției de atîtea ori, cîte niveluri identice are construcția (v. exemplul la paragraful 4).

Folosirea subgrafurilor standard este avantajoasă nu numai pentru că permite o „economie de gîndire" ci mai ales pentru că permite preluarea într-o formă ușor de asimilat și urmărit, a unor experiențe și studii îndelungate, concretizate în ele. Într-adevăr, folosirea repetată a subgrafurilor standard, pe lîngă faptul că face posibilă și economică o studiere foarte atentă a lor încă de la elaborare, permite perfecționarea lor, continuă pe parcursul aplicării, punerea lor în concordanță cu practica. Subgrafurile tip se pot multiplica prin tipărire în așa fel încît la elaborarea grafului dispare chiar și problema copierii cu mîna.

Munca de planificare este mult ușurată în cazul în care calculatorul electronic de care se dispune are un program care să-i permită memorarea permanentă a subgrafurilor standard, care devin în acest fel „subgrafuri de bibliotecă". În asemenea situații, planificatorul nu trebuie să indice calculatorului decît tipurile diferitelor subgrafuri și să dea subgraful legăturilor. Procedura exactă care trebuie urmată se indică în instrucțiunile de folosire ale fiecărui program.

c. ASIGURAREA CORESPONDENȚEI ÎNTRE GRAFURILE DE DIFERITE GRADE

Este evident că atunci cînd pentru același proiect se elaborează grafuri de diferite grade de amănunțime necesare la diferite niveluri de conducere, acestea trebuie corelate perfect și clar, în caz contrar existînd pericolul apariției unor contradicții sau neînțelegeri care pot produce perturbări.

Cel mai clar mod de a asigura o corespondență fără echivoc între grafurile de diferite grade se bazează pe folosirea nodurilor-evenimente.

Pentru exemplificare se va folosi graful din fig. VII.3. Se pune problema să se redacteze un graf de amănunțime mai redusă, necesar pentru nivelul de

Scanned with OKEN Scanner

conducere imediat superior. La acest nivel se dorește un graf cu ajutorul căruia să se poată urmări:

— declanșarea programului;
— terminarea activității D;
— terminarea activității I;

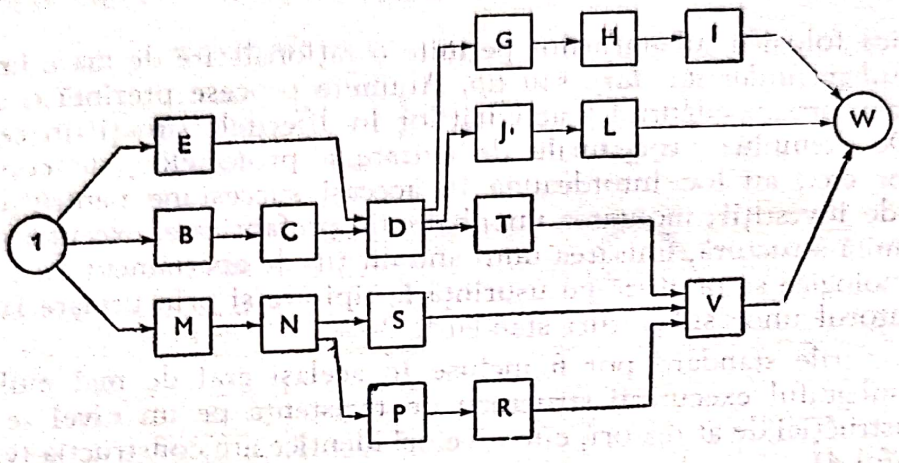


Fig. VII. 3

— terminarea activității N;
— momentul în care poate începe activitatea V (sau momentul în care s-au terminat toate activitățile R, S și T).

Înainte de a trece la comasarea grafului, s-au introdus noduri-evenimente cheie în pozițiile care au fost indicate mai înainte adică nodul 2 după D, nodul 3 după J, nodul 4 după N și nodul 5 înainte de V (fig. VII.4).

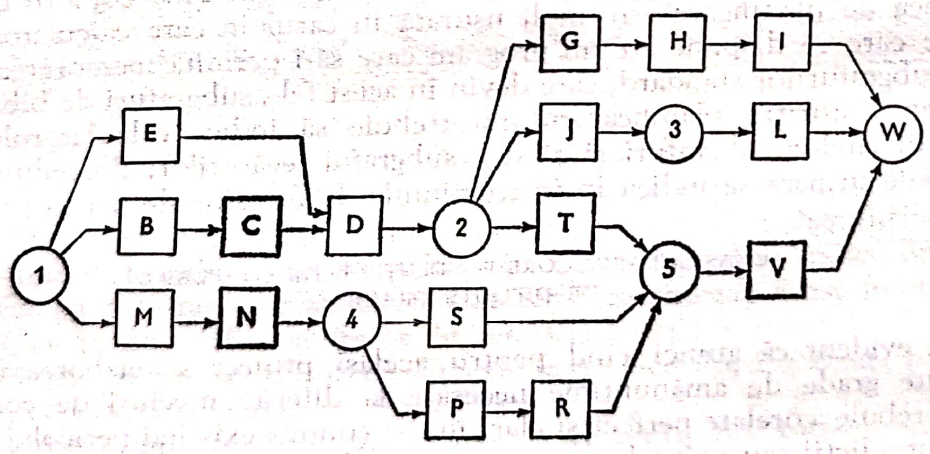


Fig. VII. 4

Apoi se face comasarea activităților, respectînd următoarea regulă: *dacă între două evenimente cheie se află unul sau mai multe drumuri pe care nu se găsește nici un alt eveniment cheie, aceste drumuri se înlocuiesc cu o singură*

activitate compusă. De exemplu, între nodurile *1* şi *4*, drumul *1* şi *4*, drumul format din activităţile *M* şi *N* s-a înlocuit în fig. VII.5 cu activitatea *M+N*.

Între evenimentele *1* şi *2* există două drumuri, *1—B—C—D—2* şi *1—E—D—2* care au fost înlocuite printr-o singură activitate care conţine activităţile *B*, *C*, *D* şi *E*.

În schimb, activităţile de pe drumul *2—J—3—L—W* nu au fost comasate datorită faptului că pe acest drum între nodurile cheie *2* şi *W* mai există un nod cheie: nodul *3*.

Să presupunem că se cere o rezumare şi mai pronunţată a grafului în vederea folosirii lui la un nivel superior (nivelul 1 de conducere), la care interesează numai momentul terminării lui *D*, momentul în care devine posibilă începerea lui *V* şi bineînţeles începutul şi sfîrşitul grafului.

Cu alte cuvinte, pentru nivelul superior rămîn evenimente cheie numai evenimentele *1*, *2*, *5* şi *W*, (marcate pe figură cu *1*).

Graful rezultat este reprezentat în fig. VII.6, *a*. Se remarcă dispariţia evenimentelor *3* şi *4* şi comasarea activităţilor *G*, *H*, *I*, *J*, *L* pe de o parte şi *M*, *N*, *P*, *R*, *S* pe de alta.

Să presupunem că pentru un nivel de conducere şi mai înalt se cere un graf şi mai rezumativ, singurele evenimente cheie rămînînd *1*, *2* şi *W*.

Constatăm că aici intervine o dificultate: activitatea *V* aparţine şi drumului *2—T—5—V—W* şi drumului *1—α—5—V—W* deci ar trebui inclusă şi în activitatea care va rămîne între *2* şi *W* şi în activitatea de pe drumul *1—W*.

Există două posibilităţi:

— să renunţăm la eliminarea nodului *5*;

— să eliminăm *5* şi să cuprindem pe *V* în cele două activităţi compuse. În această situaţie cele două activităţi compuse nu mai sînt independente, aşa cum de fapt apar în fig. VII.6, *b*.

În asemenea cazuri, durata activităţii *V* trebuie luată în calcul la stabilirea duratei fiecăreia din cele două activităţi, dar resursele nu trebuie luate în considerare decît în cadrul uneia din ele.

Situaţii de felul celei tratate apar cu mare frecvenţă în practică şi de multe ori este foarte greu să se facă simplificări ale grafului fără a se admite ca unele din activităţi să intre în componenţa mai multor activităţi comasate. Această stare de lucruri pare ciudată la prima vedere, dar trebuie remarcat faptul că, la nivelul de conducere la care s-ar folosi graful din fig. VII.6, *b*, se urmăresc evenimentele cheie, în timp ce conţinutul exact al activităţilor dintre acestea nu prezintă prea multă importanţă; aceste activităţi sînt interpretate ca un ansamblu de operaţii care trebuie întreprinse pentru a aduce lucrarea din stadiul evenimentului precedent în stadiul corespunzător evenimentului următor; ceea ce este foarte important este durata acestui ansamblu de activităţi.

În cazul în care se doresc amănunte asupra acestor activităţi, este inevitabil să se analizeze graful de amănunţime mai mare.

Mai trebuie să se atragă atenţia asupra faptului că în cadrul unei activităţi compuse (de exemplu *B+C+D+E*) activităţile componente se execută în ordinea stabilită în subgraful iniţial. Figura VII.7 *b* arată felul în care trebuie interpretată activitatea compusă *B+C+D+E* din fig. VII.7, *a*.

Scanned with OKEN Scanner

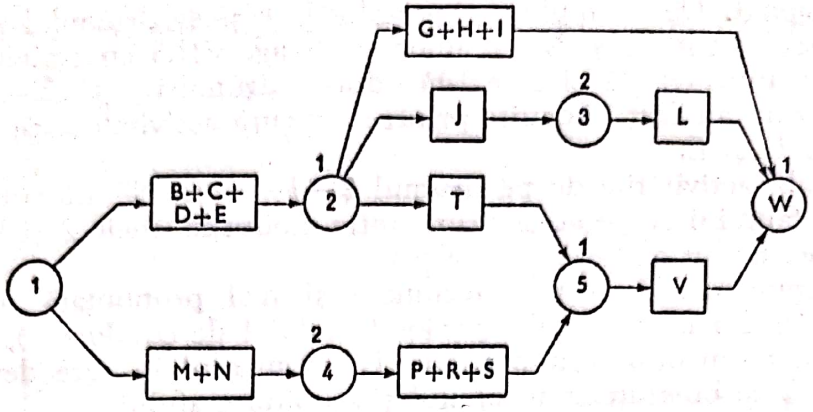
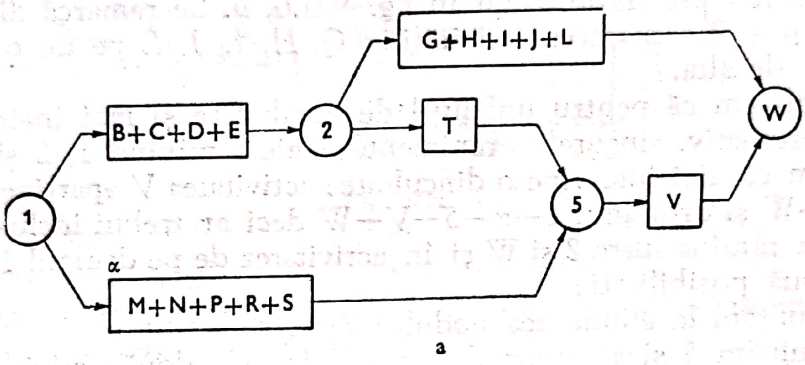
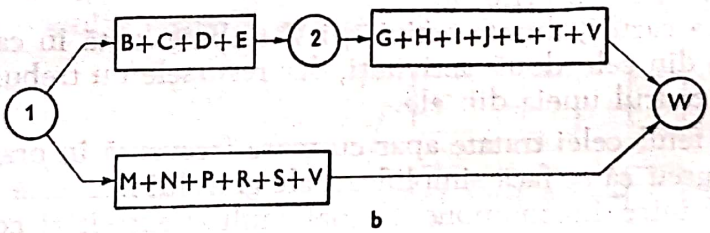


Fig. VII.5

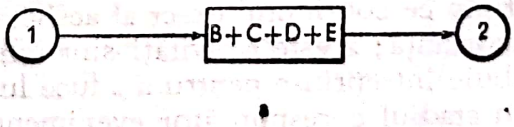


a

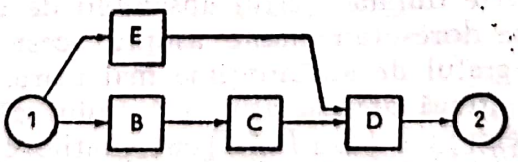


b

Fig. VII.6



a



b

Fig. VII.7

Rezumarea grafurilor ar putea fi făcută în principiu şi fără a se face apel la nodurile cheie. Avantajul acestora este însă acela că denumirea şi codul lor numeric rămîn neschimbate în toate variantele grafului, ceea ce permite o uşoară comparare a acestor variante, precum şi raportarea foarte simplă a stadiilor fizice de la un nivel la altul. Într-adevăr, raportarea: „evenimentul 2 a fost realizat în ziua de 1 octombrie 1966" are un înţeles precis şi unic pentru toate cele patru variante de detaliere ale grafului, respectiv pentru toate cele patru niveluri de conducere care le folosesc.

* * *

În cele ce urmează se va putea urmări pe baza a trei exemple, modul în care se lucrează la elaborarea unui graf. Ca exemple au fost alese:

1) Un graf de gradul III — graf pentru studiul ciclului de cofrare, armare, betonare la construcţii etajate cu schelet de beton armat.

2) Un graf de gradul II — graful pe obiect al unui bloc de locuinţe.

3) Un graf de gradul I — graful coordonator al unui ansamblu de locuinţe.

4. ELABORAREA UNUI GRAF DE GRADUL III

Se cere să se elaboreze graful de gradul III al procesului tehnologic de execuţie a structurii de beton armat al unui nivel curent al unei clădiri multietajate. Structura este constituită din pereţi şi stîlpi ca elemente verticale, placă şi grinzi, ca elemente orizontale, scară.

a. ÎNTOCMIREA LISTEI DE ACTIVITĂŢI

Scopul final al elaborării grafului este acela de a studia amănunţit ciclul de execuţie a unui nivel în vederea asigurării folosirii continue a macaralei şi a echipelor şi în vederea reducerii numărului de muncitori care participă la ciclu. Eventual se va urmări să se realizeze şi o scurtare a duratei ciclului.

Procesul tehnologic fiind bine cunoscut, elaborarea listei nu prezintă dificultăţi:

Lucrări de dulgherie

C1. Trasarea planimetrică.
C2. Transportul cofrajelor pereţilor şi stîlpilor.
C3. Montarea cofrajelor pereţilor pe o latură.
C4. Montarea celei de a doua laturi a cofrajelor pereţilor şi cofrarea stîlpilor.
C5. Transportul cofrajelor pentru planşeu.
C6. Cofrarea planşeului.
C7. Decofrarea pereţilor.
C8. Decofrarea planşeului.
C9. Cofrarea scării.
C10. Cofrarea treptelor.

Scanned with OKEN Scanner

Lucrări de armare

F1. Confecționarea armăturii pentru pereți și stîlpi.
F2. Transportul armăturilor pentru pereți și stîlpi pe planșeu.
F3. Montarea armăturilor la pereți și stîlpi.
F4. Confecționarea armăturilor pentru planșeu și scară.
F5. Transportul armăturilor pentru planșeu și scară.
F6. Montarea armăturilor la planșeu și scară.

Lucrări de betonare și îngrijirea betonului.

B1. Betonarea stîlpilor și pereților.
B2. Betonarea planșeelor și scării.
B3. Stropirea betonului.

Pauze tehnologice

P1. Întărirea betonului din planșeu pînă la 50 kgf/cm² pentru a permite circulația și depozitarea de materiale [„Întărire I planșeu"]

P8. Întărirea betonului în stîlpi și pereți pînă la rezistența de decofrare.

P3. Întărirea betonului în planșeu pînă la rezistența de decofrare („Întărire II planșeu")

b. REDACTAREA GRAFULUI

În cazul acestui proces foarte cunoscut, elaborarea grafului poate începe de la prima activitate spre ultima.

Pe o coală de hîrtie de dimensiuni corespunzătoare au fost figurate principalele activități ale procesului tehnologic (fig. VII.8).

După montarea cofrajului pentru o latură a pereților , *C3*, se montează armătura acestora și a stîlpilor, *F3*, după care se poate închide cofrajul pereților și al stîlpilor, *C4*. Urmează cofrarea planșeului (grinzi și placă), *C6*. Înainte de a se monta armătura planșeului, *F6*, se betonează pereții și stîlpii, *B1*; această succesiune permite o turnare corectă a betonului în elementele verticale și evită în același timp degradarea armăturilor plăcii datorită circulației. După armarea planșeului (grinzi și placă), *F6*, se poate turna și betonul planșeului, iar apoi se execută stropirea lui, *B3*.

Acest graf trebuie completat în continuare cu celelalte activități din listă. Urmărim în lista de activități, care sînt activitățile nefigurate încă în graf.

„Montarea cofrajelor", *C3*, este condiționată de „transportul cofrajelor pentru pereți și stîlpi" la nivel, *C2*, „transportul cofrajelor pentru planșeu", *C5*, condiționează „cofrarea planșeului", *C6*. Este natural ca acest transport să nu înceapă înainte de terminarea transportului „cofrajelor pentru pereți și stîlpi", care trebuie folosite în primul rînd.

Urmărind în continuare lista de activități:

— „Decofrarea pereților" *C7* se poate face după „întărirea pereților", activitate încă nefigurată. Figurăm deci activitatea „întăririi pereților" care este condiționată de „betonarea pereților".

Scanned with OKEN Scanner

— „Decofrarea planşeului" *C8* este condiţionată de „întărirea planşeului", *P3*, care nu este încă figurată. Vom figura deci „întărire II planşeu" *P3*, care este condiţionată de „turnare planşeu", *B2*, apoi figurăm şi activitatea *C8*.

— „Cofrarea scării" *C9* poate începe imediat după „trasare" şi condiţionează activitatea *F6* care conţine şi „armarea scării".

— „Cofrarea treptelor" *C10* constă în montarea unor contratrepte din scînduri, după ce s-a executat armarea rampelor. Deci *C10* este condiţionat de *F6*, „armarea scării" şi condiţionează pe *B2*, „turnare planşeu şi scară".

— „Confecţionarea armăturilor pentru pereţi şi stîlpi" *F1* nu este condiţionată de altă activitate din graf, de aceea este figurată în partea stîngă a grafului;

— „Transportul armăturii" *F2* este condiţionat de „confecţionarea ei", *F1*. De asemenea s-a considerat necesar să nu se înceapă acest transport pînă nu s-a terminat „transportul cofrajelor pentru pereţi", *C2*, avîndu-se în vedere faptul că ambele activităţi folosesc macaraua, iar *C2* este mai urgentă.

Pentru un motiv similar s-a introdus şi condiţionarea *F2—C5*.

— „Confecţionarea armăturii planşeului" *F4* nu este condiţionată de altă activitate, din care cauză a fost figurată în partea stîngă a figurii;

— „Transportul armăturii planşeului" *F5* este condiţionat de „confecţionare", *F4*, şi de terminarea „cofrării planşeului", *C6*, avînd în vedere faptul că armătura se depozitează pe cofrajul planşeului.

Ultima activitate nefigurată este *P1*, „întărire I planşeu" pînă la 50 kgf/cm², care este condiţionată evident de turnarea planşeului.

Mai este necesară legarea grafului de ciclurile precedente şi următoare:

— „Trasarea" este condiţionată de „întărire I planşeu" la nivelul inferior. S-a introdus nodul *a* înainte de trasare şi *A* după „întărire I planşeu";

— „Transportul cofrajelor pentru pereţi şi stîlpi" este condiţionat de „decofrarea pereţilor şi stîlpilor" la un nivel turnat înainte. S-au introdus nodurile *b* şi *B*;

— în mod similar s-au introdus nodurile *c* şi *C* pentru a marca faptul că „transportul cofrajelor pentru planşeu" este condiţionat de „decofrarea planşeului" la un nivel turnat înainte.

În fig. VII.9 care reprezintă facsimilul unei planşe de studiu a acestui graf, se remarcă faptul că dimensiunea aleasă iniţial pentru coala de hîrtie a condus la încălcarea convenţiei privind direcţia stînga-dreapta a arcelor.

De asemenea, se mai constată faptul că elaboratorul a introdus ulterior două activităţi care nu figurau în listă: activităţile „recepţie" introduse între *F3* şi *C4* şi între *F6* şi *B2*. Ele se referă la controlul cofrajului şi recepţia armăturii de către diriginte.

Figura VII.10 (v. planşa de la sfîrşitul cărţii) redă varianta finală a grafului primar.

Se pot remarca următoarele îmbunătăţiri faţă de varianta precedentă:

— au fost explicitate activităţile „decofrare scară", „transport cofraj scară";

— au fost eliminate condiţionările supraabundente:

C2—C5, *F3—C4*, *F6—B2*;

Scanned with OKEN Scanner

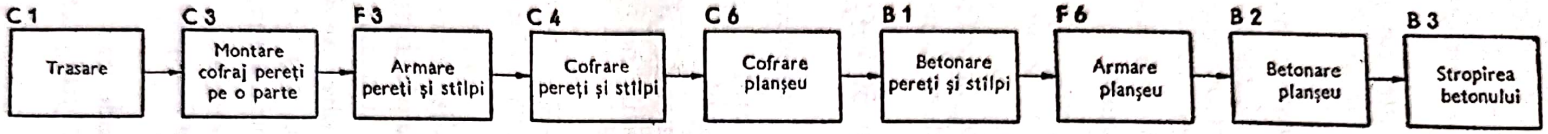


Fig. VII. 8

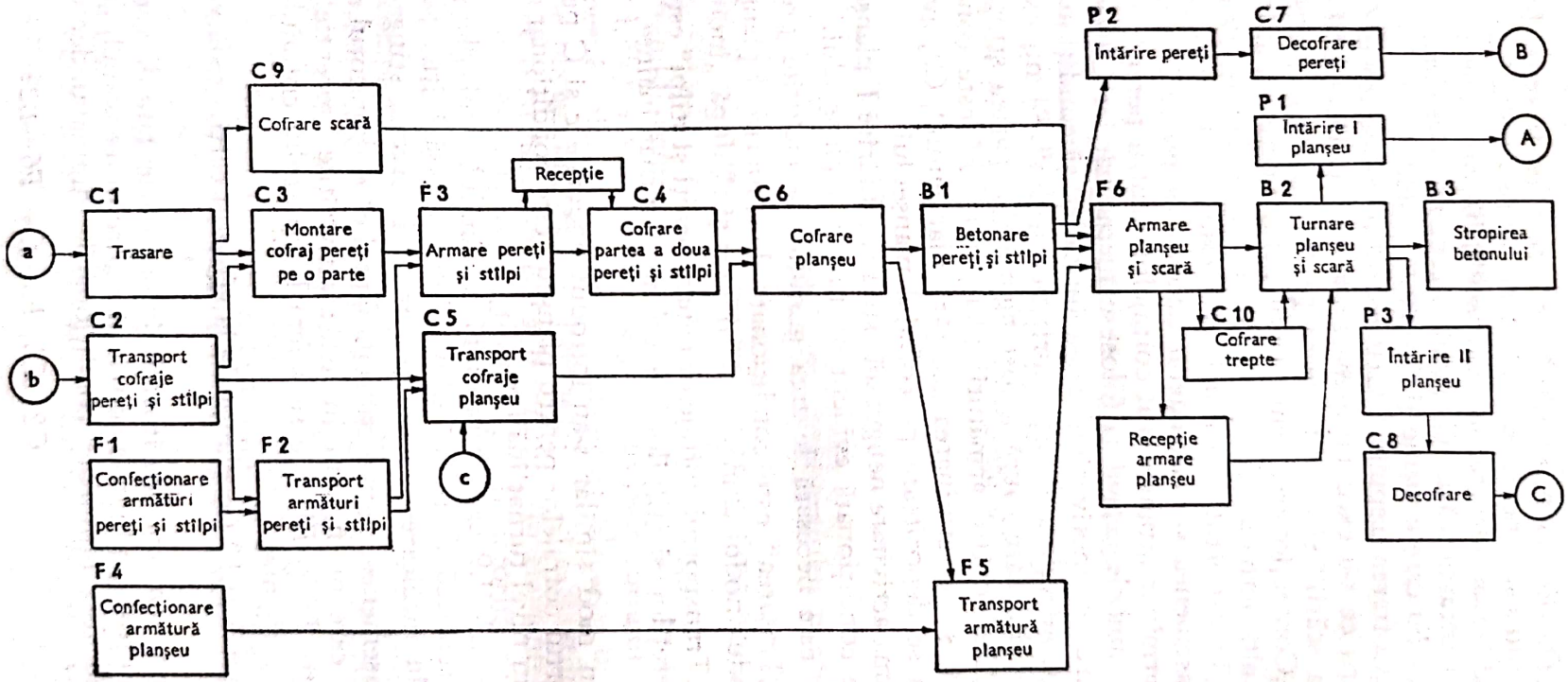


Fig. VII. 9

Scanned with OKEN Scanner

— „decofrarea pereților", C7, a fost condiționată în mod suplimentar din motive tehnice, lesne de înțeles, și de activitatea *P1* „întărire I planșeu" (condiționare care fusese neglijată în prima schiță);

— s-au introdus nodurile-eveniment, inițiale *d*, *e* și *f* precum și nodurile-eveniment finale *D*, *E*, *F*, *G*.

În afară de nodul *G* care nu condiționează nici o activitate dintr-un ciclu următor, celelalte noduri condiționează fiecare nodul purtînd litera mică omologă a unuia din ciclurile următoare.

În fig. VII.11 sînt figurate trei variante de scheme de asamblare a subgrafurilor pe nivel.

Figura VII.11, *a* reprezintă varianta în care se dispune de un singur set de cofraje, care trebuie folosit pe rînd la toate etajele.

A doua variantă presupune existența a două seturi de cofraje. După cum se vede, legăturile care reprezintă mișcarea cofrajelor (*B—b*, *C—c*, *D—d*), sînt figurate din două în două niveluri (fig. VII.11, *b*).

Ultima variantă studiază cazul în care se dispune de două seturi pentru cofrajele de planșeu și scară și numai de un set pentru cofrajele de pereți (fig. VII.11, *c*). Față de varianta a doua se constată modificarea legăturilor *B—b*.

***

Pentru moment se poate remarca faptul că chiar numai elaborarea grafului este profitabilă pentru elucidarea procesului tehnologic. Dacă în exemplul ales

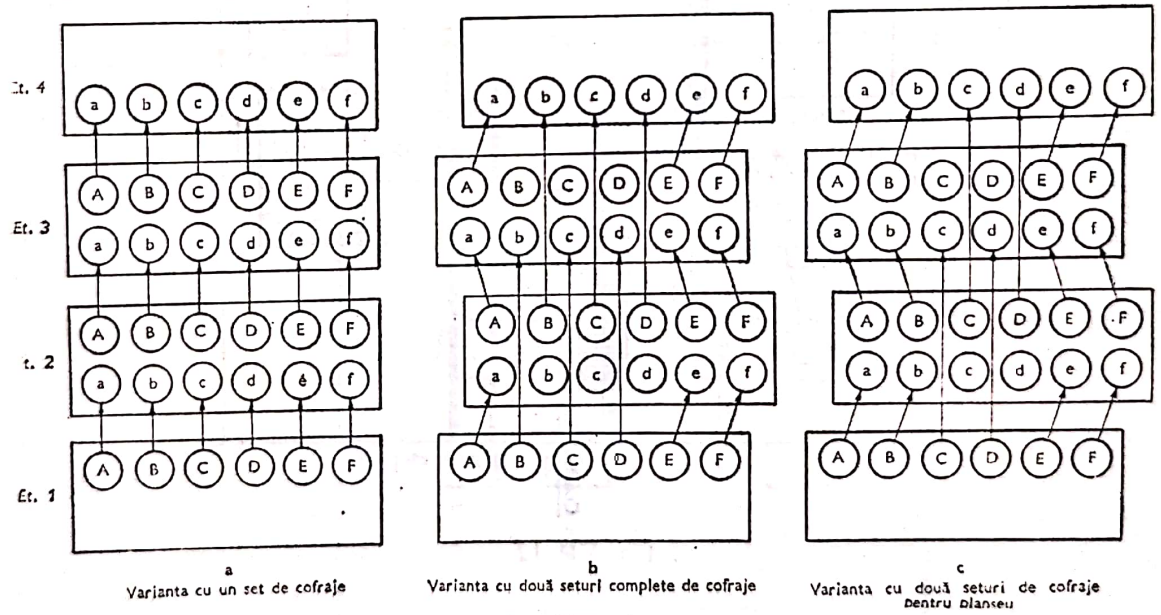


Fig. VII. 11

procesul tehnologic este în general bine cunoscut de orice constructor și graful nu evidențiază multe lucruri noi, se poate intui că pentru procese tehnologice noi sau mai puțin cunoscute, graful poate arunca lumină asupra multor aspecte insuficient clarificate.

Din experiența multor țări a rezultat că avînd la dispoziție graful procesului pe care urmează să-l conducă sau să l execute, punerea la curent a personalului de conducere se face într-un timp redus.

5. ELABORAREA UNUI GRAF DE GRADUL II. BLOC DE LOCUINȚE CU PATRU ETAJE

a. DESCRIEREA PROIECTULUI

Se cere elaborarea unui graf de gradul II pentru un bloc modern de locuințe format din două tronsoane, avînd subsol, parter și patru etaje.

Fiecare tronson are o scară și cîte patru apartamente la fiecare nivel.

Structura este din beton armat monolit, avînd stîlpi și diafragme.

Acoperișul este de tip terasă. Blocul este dotat cu toate instalațiile moderne, inclusiv încălzire centrală.

Lucrarea se execută vara.

Amplasamentul blocului este izolat, astfel încît este necesară o organizare completă a bazei de producție a șantierului (fig. VII.12).

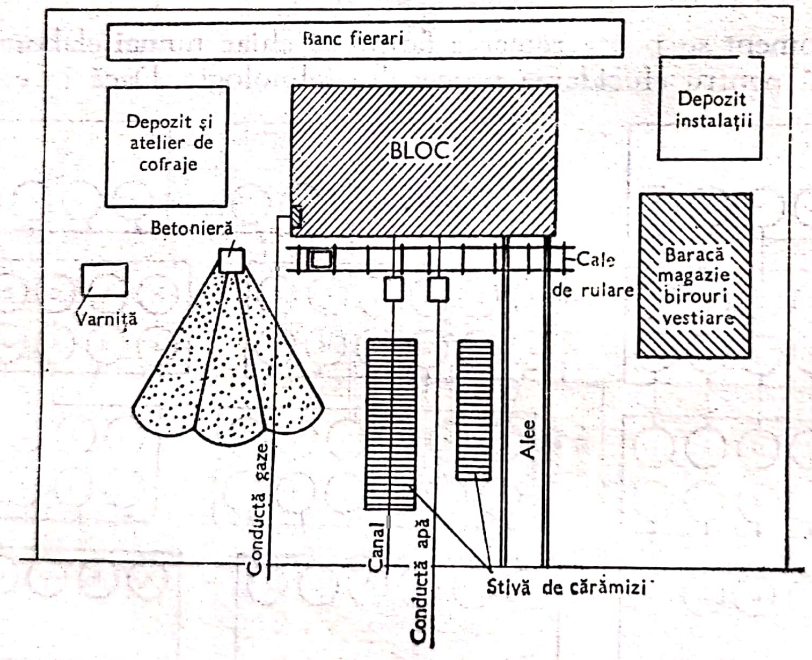


Fig. VII. 12

b. SCOPUL GRAFULUI

Graful va folosi la planificarea și conducerea operativă a șantierului de către responsabilul obiectului și la controlul activității de către șeful de lot. În consecință, gradul de detaliere va fi astfel ales încît să fie posibilă planificarea mișcării echipelor și determinarea interferențelor între echipe. De asemenea, avînd

în vedere nivelul de conducere căruia îi este destinat, nu se vor studia activităţile premergătoare (proiectare, contractare) şi nici activităţile care se execută în afara incintei şantierului (reţelele subterane de alimentare etc.).

c. ÎMPĂRŢIREA PE ZONE

Pentru sistematizare, activităţile pot fi împărţite în două zone principale:
— blocul propriu-zis;
— lucrări exterioare şi de organizare.
Împărţirea blocului pe subgrafuri este reprezentată schematic în fig. VII.13.

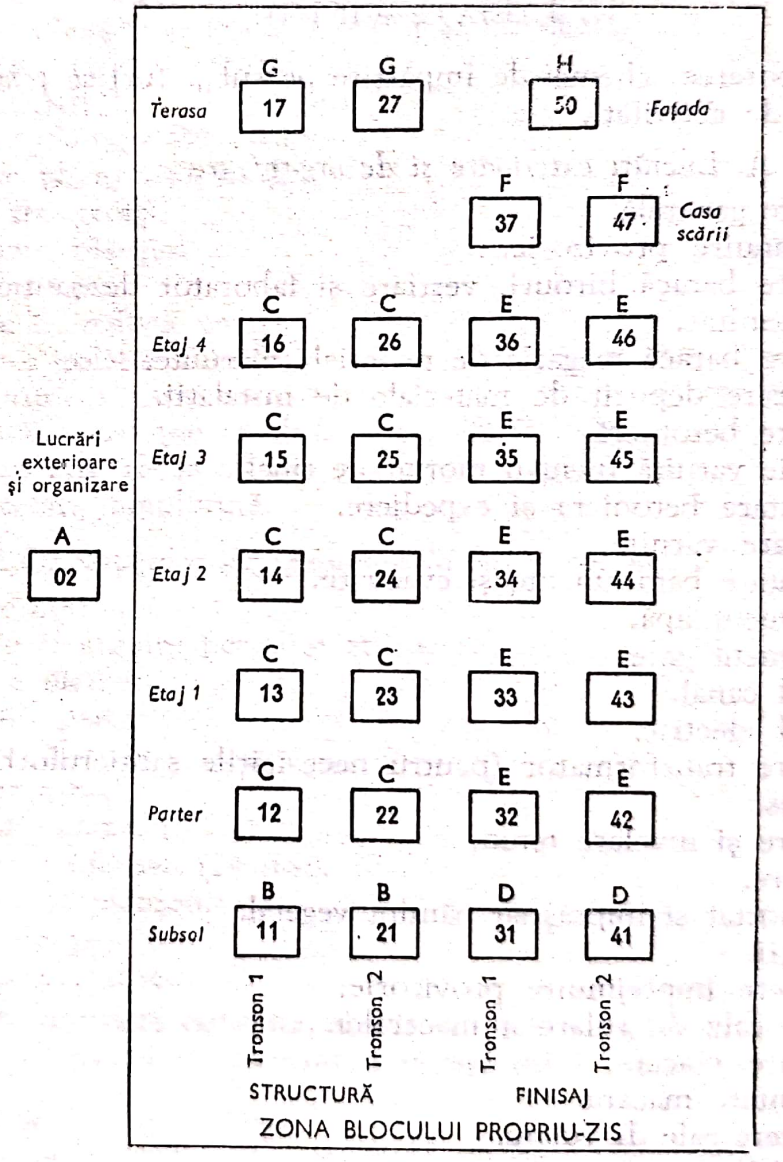


Fig. VII.13

Subgrafurile sînt reprezentate pe schemă sub formă de dreptunghiuri. Subgrafurile sînt grupate pe „structură" şi „finisaj" şi pe tronsoane. Subgrafurile aferente unui anumit nivel se găsesc pe aceeaşi orizontală.

Scanned with OKEN Scanner

De la început se constată că cele 30 subgrafuri nu sînt toate diferite între ele, ci sînt doar de 8 tipuri, notate cu litere de la *A* la *H*. Aceste tipuri de subgrafuri intervin:

— *A* și *H* o singură dată;
— *B*, *D*, *F* și *G* de cîte două ori.
— *C* și *E* de cîte zece ori.

Folosirea tehnicii de elaborare a grafului din subgrafuri și utilizarea de subgrafuri tip este în mod evident foarte avantajoasă în acest caz.

d. LISTA DE ACTIVITĂȚI

După elaborarea schemei de împărțire pe subgrafuri se poate trece la elaborarea listei de activități.

Subgraful A. Lucrări exterioare și de organizare

1. Nivelare generală.
2. Împrejmuire provizorie.
3. Instalare baracă birouri, vestiare și laborator de șantier.
4. Grup sanitar.
5. Instalare baracă magazie de materiale mărunte.
6. Organizare depozit de materiale de instalații.
7. Instalare betonieră.
8. Execuție varniță (pentru mortar de tinci).
9. Demontare betonieră și expediere.
10. Demolare varniță.
11. Demontare baracamente și evacuare.
12. Branșament apă.
13. Branșament gaze.
14. Racord canal.
15. Racord electric.
16. Instalare transformator (pentru necesitățile șantierului) și racord electric propriu-zis.
17. Curățire și nivelare teren.
18. Trotuare.
19. Transportat și împrăștiat pămînt vegetal.
20. Plantații.
21. Desfacere împrejmuire provizorie.
22. Pozare cale de rulare a macaralei.
23. Montare macara.
24. Demontare macara.
25. Desfacere cale de rulare.
26. Aprovizionare agregate.
27. Trasare.
28. Șopron pentru depozit și atelier cofraje.
29. Cămine apă și canal.
30. Stocare cărămidă.

Subgraful B. Structura subsol.

1. Trasare.
2. Săpături mecanice.
3. Săpături manuale.
4. Betoane fundații.
5. Instalații de scurgere sub pardoseli.
6. Pardoseli de beton.
7. Cofraje, armare pereți subsol.
8. Cofraje planșee.
9. Turnare beton pereți.
10. Armare planșeu și control cofraj și armătură.
11. Turnare beton planșeu.
12. Întărire pereți.
13. Întărire planșeu (24 ore).
14. Întărire planșeu (7 zile).
15. Decofrare pereți.
16. Decofrare planșeu.
17. Uscare beton.
18. Izolație hidrofugă pereți.
19. Protecție izolație hidrofugă.
20. Umplutură în jurul construcției.
21. Legătură canal (de la clădire la cămin).
22. Legătură apă (de la clădire la cămin).
23. Compactare umplutură.

Subgraful C. Structura de rezistență la nivel curent.

1. Trasare cofraj.
2. Cofrare și armare pereți și stîlpi.
3. Cofrare planșeu.
4. Betonare pereți.
5. Armare planșeu.
6. Întărire pereți.
7. Betonare planșeu.
8. Întărire I planșeu (24 ore).
9. Întărire II planșeu.
10. Decofrare pereți.
11. Decofrare planșeu.

După cum se poate constata, detalierea este simțitor mai redusă decît în cazul grafului de gradul III analizat la paragraful 4.

Subgraful D. Finisaj subsol

1. Tencuieli.
2. Spoieli și vospitorii.
3. Instalații electrice aparente.
4. Rețea de distribuție a apei.
5. Rețea de scurgeri.

Scanned with OKEN Scanner

6. Rețea de încălzire.
7. Instalație centrală de încălzire.
8. Scliviseli pardoseli.
9. Montare tîmplărie metalică și de lemn.
10. Zidării.
11. Uscare tencuieli.
12. Izolații conducte încălzire și apă caldă.
13. Uscare izolație.

Subgraful E.

1. Vagris și trasare zidărie.
2. Zidărie exterioară.
3. Zidărie interioară.
4. Montare tîmplărie exterioară.
5. Suporți radiatoare.
6. Montare tîmplărie interioară.
7. Instalații electrice și doze pereți.

Lucrări în camere și bucătărie

8. Instalare coloane sanitare în bucătării și coloane scurgere terasă (coloana „ploaie").
9. Tencuieli tavan, inclusiv glet de var.
10. Tencuieli pereți, inclusiv glet de var.
11. Uscare tencuieli.
12. Trasare vagris.
13. Evacuare moloz.
14. Zugrăveli pe pereți în zonele din spatele radiatoarelor.
15. Montare coloane gaze la bucătării.
16. Montare coloane încălzire.
17. Montare radiatoare gata vopsite (grund + strat I).
18. Instalații electrice pe planșeu.
19. Șape, mozaic și frecare I mozaic.
20. Pervazuri uși.
21. Dibluri.
22. Tragerea conductoarelor.
23. Izolare conductă apă caldă bucătărie.
24. Rabițuri și tencuială de mascare a instalației sanitare (șlițuri).
25. Retușuri tencuieli.
26. Uscare tencuieli
27. Vopsitorii strat I pe tîmplărie.
28. Montat geamuri.
29. Aprovizionare în apartamente nisip uscat și plăci suport pentru parchet (fibrobeton sau PFL).
30. Montat parchet.
31. Zugrăveli și vopsitorie pereți strat I
32. Montare spălător bucătărie.

Scanned with OKEN Scanner

Lucrări numai în băi

33. Montat coloane sanitare.
34. Montat console radiatoare.
35. Tencuieli.
36. Retrasare vagris.
37. Montare coloane de încălzire.
38. Izolare hidrofugă pe amplasamentul căzii.
39. Sifon pardoseală.
40. Izolare termică conductă apă caldă.
41. Execuţie şliţuri, dibluri, retuşuri tencuieli.
42. Uscare şliţuri şi retuşuri.
43. Instalare cadă şi racord la sifon.
44. Placaj de cărămidă în faţa băii.
45. Placaj faianţă.
46. Şapă mozaic.
47. Pardoseli mozaic + frecare I.
48. Plinte şi şape.
49. Spoieli şi vopsitorii strat I.
50. Transport radiatoare.
51. Montat rezervor şi tub W.C.
52. Frecat mozaic II (fin).
53. Montat vas W.C., lavoare, oglindă, etajeră.

Lucrări în întregul apartament

54. Zugrăveli şi vopsitorii stratul II şi eventual III.
55. Montare foi uşi furniruite.
56. Curăţat parchet.
57. (Varianta cu PVC) curăţire şi şpacluire şapă, lipit covor PVC.
58. Montare rafturi în cămară şi debara.
59. Curăţenie, retuşuri.
60. Montare aparate electrice şi armături. Probe.

După cum se vede din această listă, activităţile care trebuie executate în baie (numerele 33—53) au fost listate separat. Este raţional ca aceste activităţi să fie grupate într-o zonă separată a subgrafului şi să nu fie legate de unele activităţi similare din restul apartamentului avînd în vedere situaţia specifică a camerei de baie: spaţiu mic, operaţii numeroase, interferenţă mare între constructori şi instalatori.

În afara activităţilor listate, valabile pentru fiecare nivel în parte, mai au loc, o dată pentru întregul tronson şi următoarele:

— probe instalaţii sanitare baie;
— probe instalaţii sanitare bucătărie;
— probe instalaţie încălzire;
— probe instalaţie gaze.

Aceste activităţi pot fi figurate fie în subgraful etajului 4, fie în subgraful principal (01).

Scanned with OKEN Scanner

Subgraful F. Casa scării.

1. Zidării.
2. Montare tîmplărie exterioară.
3. Montare nişe prefabricate pentru distribuţie, contori şi telefoane.
4. Coloane electrice.
5. Tencuieli.
6. Retrasare vagris.
7. Uscare tencuieli
8. Tub gunoi.
9. Montare balustradă.
10. Echipare nişe.
11. Montare suporţi radiator.
12. Zugrăveli spate radiatoare.
13. Instalare coloane încălzire.
14. Montare radiatoare.
15. Placare trepte.
16. Şapă, mozaic, frecat I paliere.
17. Plinte.
18. Retuşuri tencuieli.
19. Uscare retuşuri.
20. Vopsitorii şi zugrăveli I.
21. Geamuri.
22. Frecat II mozaic.
23. Vopsitorii şi zugrăveli II şi III.
24. Mînă curentă.
25. Aparatură electrică.
26. Retuşuri.
27. Curăţenie finală.
28. Prerecepţie.

Subgraful G. Terasa.

1. Parapete şi zidării pentru ventilaţii.
2. Instalaţii electrice pentru etajul 4.
3. Betoane de pantă şi şapă de egalizare.
4. Uscare şapă.
5. Barieră de vapori.
6. Racordare provizorie la scurgere.
7. Izolaţie termică.
8. Şapa.
9. Uscare şapă.
10. Hidroizolaţie.
11. Racordare definitivă la scurgere.
12. Proba.

Scanned with OKEN Scanner

13. Strat de circulaţie (pat de nisip şi dale).
14. Tencuiala de protecţie pe parapet şi ghene ventilaţie.
15. Lucrări de tinichigerie.

Subgraful H. Faţade

1. Schelă tubulară.
2. Tencuieli.
3. Uscare tencuieli.
4. Vopsitorii (vinacet faţadă şi tîmplărie exterioară).
5. Tinichigerie.
6. Montare grilaje parapete şi rame despărţitoare la balcoane.
7. Montare geamuri despărţitoare.
8. Demontare schelă.
9. Trotuar de împrejmuire.
10. Turnare trepte beton intrare.
11. Mozaicare trepte (inclusiv frecat).
12. Frecat mozaicuri la balcoane.
13. Placare soclu cu travertin.
14. Placare calcane cu cărămidă aparentă.

Subgrafurile elaborate sînt reprezentate în fig. VII.14—VII.21 (v. planşele de la sfîrşitul cărţii).

Se va descrie mai în detaliu numai subgraful de tip E, care priveşte finisarea apartamentelor.

Subgraful este împărţit în mai multe zone, cu scopul principal de a pune în evidenţă activităţile care se execută în camera de baie. După cum s-a mai menţionat, această necesitate a apărut în practica elaborării grafurilor privind finisajul apartamentelor, datorită specificului lucrărilor din această cameră:

— operaţii numeroase pe un front redus;

— strînsa împletire între activităţile de construcţii şi cele de instalaţii.

Datorită acestor caracteristici drumul critic trece în mod obişnuit prin activităţile din camera de baie. Din acest motiv este raţional ca lucrările din camera de baie să fie planificate independent de lucrările similare din alte camere, pentru a permite fie devansarea lor, fie la nevoie rămînerea în urmă, fără ca prin aceasta să se stînjenească lucrările din celelalte camere.

Aşa de exemplu, lucrările de mozaicuri din baie vor avea, fiind operaţii critice, termene de execuţie foarte stricte. În cazul unui deficit de mozaicari, ar fi absurd să se întîrzie mozaicurile din baie, numai pentru a fi executate simultan cu cele din bucătărie, care admit întîrzieri. Sau, în cazul în care există un număr mare de mozaicari, ar fi absurd să nu li se permită execuţia mozaicurilor din bucătării, înaintea celor din camerele de baie.

Acelaşi raţionament a fost făcut pentru instalaţii de încălzire, sanitare, probe la instalaţiile sanitare, primul strat de spoieli şi vopsitorii etc.

Subgraful este orientat pe orizontală, conform convenţiei obişnuite, de la stînga la dreapta. În partea de jos se găsesc nodurile de conexiune cu subgraful

Scanned with OKEN Scanner

similar de la nivelul inferior, iar în partea de sus nodurile de conexiune cu subgraful etajului superior. Nodurile de conexiune sînt astfel amplasate încît subgrafurile tuturor nivelurilor pot fi asamblate prin juxtapunere într-un graf unitar în care arcele care leagă subgrafurile sînt în continuare și se pot urmări direct pe figură, fără intermediul nodurilor de conexiune. În acest scop, planșele grafurilor se taie de-a lungul liniilor punctate și se lipesc cap la cap astfel încît să se asigure continuitatea arcelor. Acest mod de asamblare este foarte avantajos deoarece poate fi citit cu ușurință și permite astfel urmărirea lui curentă de către personalul de pe șantier.

Dacă blocul are multe niveluri, dimensiunea verticală a graficului rezultă incomod de mare. În aceste cazuri este recomandabil ca la desenarea subgrafului arcele să fie orientate vertical (de sus în jos), iar nodurile de conexiune să fie figurate în stînga și în dreapta desenului. În acest fel, la asamblare subgrafurile se așază unul lîngă celălalt pe orizontală, de la stînga la dreapta.

În ceea ce privește procesul tehnologic reprezentat prin acest subgraf sînt de făcut următoarele observații, asupra unor condiționări introduse pentru a se asigura calitatea și scurtarea duratei de execuție.

1) Începerea tencuielilor a fost condiționată de evenimentul 0072 care reprezintă fie terminarea turnării betonului la etajul $n+2$, fie, la penultimul și ultimul nivel, hidroizolarea terasei (minimum bariera de vapori).

2) Radiatoarele sînt considerate ca aprovizionate gata probate și vopsite cu primul strat (operații care se execută în ateliere centralizate). Aducerea lor este prevăzută a se face numai puțin timp înainte de montare (17), pentru a se evita murdărirea lor și manipularea lor repetată. Înainte de operația de montare (17) s-a prevăzut operația de zugrăveli sau vopsitorii (14) pe suprafața din spatele radiatorului. În acest fel se evită operația de demontare a radiatoarelor care se execută în prezent pe cele mai multe șantiere, obținîndu-se o importantă scurtare a duratei de execuție, o calitate mai bună și economie de muncă.

3) Finisajele fine sensibile la umezeală (parchetul 29, 30, zugrăvelile 31), au fost prevăzute numai după ce a fost înlăturat orice pericol de umezire a lor, respectiv, după ce s-au terminat toate probele la instalații și la terasă, precum și după frecarea mozaicului și montarea geamurilor. În mod intenționat aprovizionarea la locul de muncă a materialelor pentru suportul parchetului (nisip și PFL poros, care trebuie ferite de umezeală), a fost evidențiată într-o activitate separată (29) pentru a atrage atenția ca această aprovizionare să nu se facă decît după terminarea operațiilor menționate mai înainte.

4) În subgraf au fost cuprinse și operațiile corespunzătoare variantei cu pardoseli calde din covor PVC (57). (Evident, în practică, în funcție de prevederile proiectului, urmează să fie anulate operațiile care nu corespund soluției proiectate).

Conform normativelor în vigoare, pozarea covorului se face după terminarea zugrăvelilor, eliminînd astfel operația de spălare a covorului PVC care consumă muncă și nu are rezultate suficient de bune. Înainte de lipirea covorului PVC s-a prevăzut operația de curățire și chituire a stratului suport.

Scanned with OKEN Scanner

6. ELABORAREA UNUI GRAF DE GRADUL I PENTRU O INVESTIȚIE

Se cere să se elaboreze un graf coordonator pentru un ansamblu de locuințe format din două blocuri și lucrările edilitare aferente. Planul de situație al ansamblului este reprezentat în fig. VII.22* (v. planșa de la sfîrșitul cărții).

Accesul la cele două blocuri se poate face atît din bulevardul *A* cît și din bulevardul *B*, prin strada *C* existentă, apoi prin aleea *D* proiectată. Rețeaua de apă este legată la rețeaua orășenească atît prin conducta de pe bulevardul *A* cît și prin cea de pe bulevardul *B*. Rețeaua de canalizare este racordată la colectorul de pe bulevardul *A*, iar rețeaua de termoficare la magistrala de pe bulevardul *B*. Tot în acest ansamblu trebuie executată și o stație centralizată de termoficare *SC*.

Pentru prepararea betoanelor s-a prevăzut instalarea unei stații centrale de beton, racordată provizoriu la rețeaua de apă și la rețeaua de drumuri.

Execuția acestui ansamblu comportă și demolarea a două locuințe existente (nr. 25 și nr. 29).

a. ÎMPĂRȚIREA PE SECTOARE

Pentru sectorizarea proiectului este recomandabil ca fiecare obiect să constituie un sector, iar rețelele edilitare să fie împărțite într-un număr convenabil de tronsoane.

Delimitarea tronsoanelor se va face în funcție de intersecții, schimbări de direcție, puncte importante ale rețelei (vane, cămine, posturi de transformare, camere de tragere ale cablurilor telefonice etc.). Se vor evita tronsoane mai lungi de 100—150 m. La instalațiile care necesită probe (de exemplu termoficare) căminele între care se execută probele vor constitui în mod obligatoriu limite de tronson.

Convenim să denumim *nod de rețea* punctele care delimitează tronsoanele rețelei. Nodurile au fost numerotate pe planul de situație.

Pentru identificarea tronsoanelor se va folosi indexul tronsonului, format din codul rețelei și din numerele nodurilor limitrofe, despărțite prin liniuță. De exemplu *A 14—15* va avea semnificația: tronsonul conductei de apă situat între nodurile *14* și *15*.

Pentru exemplul tratat se va adopta următorul cod al rețelelor: *A* = apă, *DP* = depavare drum, *C* = canal, *TER* = termoficare, *PTER* = probe termoficare, *D* = execuție drum.

b. GRADUL DE AMĂNUNȚIME. LISTA DE ACTIVITĂȚI

Acest tip de grafuri folosește în special antreprenorului general pentru coordonarea subantreprenorilor și a loturilor proprii; aceștia vor fi responsabilii celor mai multe dintre activități.

---

* Pentru a nu încărca inutil expunerea nu au fost luate în considerație decît patru rețele edilitare: de apă, de canal, de termoficare și de drumuri. Celelalte rețele utilitare (energie electrică, gaze, telefoane) se tratează în mod similar.

Scanned with OKEN Scanner

Din acest motiv, operațiile de execuție a unui anumit tronson de rețea vor fi luate în considerare în general ca o singură activitate. Se va prevedea de exemplu activitatea „execuție drum", și nu activitățile „terasamente", „balastare", „infrastructură de beton" etc. Evident, în cazul în care există interferențe între doi responsabili în cadrul unei activități, pentru care unul din ei este responsabil, această activitate trebuie descompusă mai amănunțit.

Este cazul, de exemplu, al tronsoanelor de apă și de termoficare de pe sectorul *2—3*; pe o porțiune a acestui sector conducta de apă este proiectată a fi amplasată în interiorul canalului de termoficare. Ca urmare vor fi prevăzute activitățile: „execuție canal termoficare", „pozare conductă apă", „probe", „închidere canal și umpluturi".

Execuția obiectelor va fi descompusă într-un număr minim de activități, necesar pentru punerea în evidență a interferențelor cu lucrările edilitare (momentele în care apar necesare diferite utilități) și a momentelor în care apar necesare sau disponibile diferite utilaje importante, ca: excavatoare, macarale, schele de fațadă etc.

c. ASPECTE SPECIFICE PROGRAMELOR DE COORDONARE ALE ANSAMBLURILOR DE CONSTRUCȚII

După cum s-a văzut, în cazul elaborării unui graf pe obiect condiționările absolute și cele tehnologice sînt preponderente; ele determină o anumită succesiune în unele cazuri foarte strictă a activităților. De exemplu, la construcțiile etajate, structura unui etaj nu poate începe pînă nu s-a terminat cel puțin într-o anumită fază, structura etajului inferior; în cadrul aceleiași încăperi, operațiile de finisare trebuie să se succeadă într-o ordine binecunoscută.

Nu la fel stau lucrurile în ceea ce privește intercondiționarea activităților din cadrul unui ansamblu de construcții.

Așa de exemplu, ordinea de atacare și de execuție a obiectelor este deseori indiferentă din punct de vedere al tehnologiei de execuție. Nu există nici un motiv ca în exemplul tratat să se hotărască atacarea lucrărilor în ordinea blocul *1*→blocul *2* sau invers.

De asemenea, ordinea în care trebuie atacate lucrările diferitelor sectoare ale rețelei edilitare este în general indiferentă. Este adevărat că în principiu este rațional ca rețelele să fie executate din aproape în aproape începînd de la joncțiunea lor cu rețeaua în funcțiune, dar acest lucru poate duce uneori la o lungire exagerată a lucrărilor. În cazul exemplului tratat s-ar putea prevedea ca drumul *D 5—6* să se execute după terminarea lui *D 2—5*. Dar dacă demolarea imobilului nr. 29 sau subtraversarea *19—20* vor întîrzia, existența acestei condiționări va conduce și la amînarea execuției drumului *D 5—6*, și prin aceasta, poate, la lungirea întregii lucrări. De altfel, chiar dacă nu s-ar lua în considerare acest aspect, condiționarea *D 2—5*→*D 5—6* este nerecomandabilă și deoarece ea creează restricții artificiale în folosirea resurselor; este evident mult mai rațional ca după terminarea nivelării la tronsonul *2—5*, grederul să treacă în continuare la nivelarea tronsonului *5—6* etc., deci fără să se aștepte terminarea completă a tronsonului precedent.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru practicianul care este obişnuit cu elaborarea grafurilor de tip Gantt, unde se ţine simultan seama de condiţionările tehnologice şi de relaţiile cumulative dintre activităţi (provocate de volumul limitat al resurselor), pare la început inacceptabil că în graful coordonator nu apar condiţionări între activităţile de execuţie ale diferitelor tronsoane ale aceleiaşi reţele (de exemplu de canalizare) deoarece au falsa impresie că în acest fel toate aceste activităţi ar urma să fie programate simultan. Trebuie reţinut că preocuparea pentru eşalonarea cît mai uniformă a acestor activităţi apare mai tîrziu în faza de optimizare a programului în funcţie de resurse. În faza de elaborare a grafului preocuparea principală este de a pune în evidenţă acele condiţionări obiective dintre activităţi care trebuie neapărat respectate sau a căror nerespectare are efecte neplăcute din punct de vedere economic şi calitativ.

Este de cea mai mare importanţă ca la elaborarea grafurilor de coordonare să nu se introducă condiţionări artificiale, de oarece acestea reduc substanţial flexibilitatea programului şi posibilităţile stabilirii unui program optim din punct de vedere al folosirii resurselor, iar în ultimă instanţă lungesc durata totală şi implică reanalizarea şi restructurarea repetată a grafului.

Dacă, după cum s-a arătat, activităţile de execuţie ale diferitelor tronsoane pot fi considerate în general independente între ele, nu la fel stau lucrurile în ceea ce priveşte *darea în funcţiune* a acestora. Darea în funcţiune a unui tronson de reţea constituie un eveniment pe care îl vom nota cu simbolul *Ev* urmat de indicativul tronsonului respectiv. De exemplu *Ev. D 2—5* este evenimentul de dare în funcţiune a drumului *2—5*, care în exemplul tratat condiţionează *Ev. D 5—6*.

Folosirea nodurilor-eveniment este foarte avantajoasă pentru a asigura claritatea grafului. Pentru exemplificare în fig. VII.23, *a* (*v.* planşa de la sfîrşitul cărţii) au fost reprezentate activităţile de execuţie ale tronsoanelor de apă care condiţionează darea în funcţiune a blocurilor *1* şi *2*. Figura VII.23, *b* reprezintă aceleaşi condiţionări, dar cu folosirea evenimentelor de dare în funcţiune a tronsoanelor. Simplificarea aspectului este evidentă chiar în cazul acestui graf simplu; ea este mult mai importantă în situaţiile în care numărul obiectelor şi al tronsoanelor este mai mare.

Un aspect special îl prezintă problema intercondiţionării activităţilor de execuţie a diferitelor tronsoane edilitare situate în ampriza unui sector de drum cum este, în exemplul tratat, cazul tronsoanelor de apă şi canal de pe sectorul *1—2*.

Este evident că execuţia drumului este condiţionată de terminarea execuţiei celor două tronsoane ale reţelelor subterane. Dar execuţia acestora nu se poate face simultan deoarece nu ar rămîne suficient spaţiu pentru circulaţie şi depozitarea pămîntului, iar activităţile s-ar stînjeni reciproc. Între aceste două activităţi există deci de fapt relaţii disjunctive (de nesimultaneitate). Folosirea acestui tip de relaţii este însă relativ complicată, mai ales cînd numărul activităţilor disjunctive este mai mare, astfel încît pentru simplificarea calculelor este util să se aleagă apriori o ordine de execuţie a acestor activităţi şi să se transforme relaţiile disjunctive în condiţionări. În exemplul de faţă a fost aleasă ordinea apă-canal, pe considerentul că reţeaua de apă este necesară în primă urgenţă pentru organizarea şantierului.

Scanned with OKEN Scanner

d. SISTEMATIZAREA GRAFULUI

În cazul proiectelor mici, cum este cel exemplificat, graful poate fi desenat pe o singură planșă. În cazul proiectelor mari, sistematizarea pe subgrafuri este însă strict necesară.

Descompunerea pe subgrafuri se poate face fie după specificul activităților și evenimentelor, fie prin împărțirea pe zone teritoriale, fie după ambele criterii.

Pentru proiectul analizat, graful a fost conceput descompus în următoarele subgrafuri:

— subgraful activităților pregătitoare (21);
— subgraful activităților de execuție a rețelelor edilitare (20);
— subgrafurile evenimentelor de dare în funcțiune ale rețelelor edilitare (cîte un subgraf pentru fiecare rețea) (10, 11, 12, 13);
— subgrafurile obiectelor (01 și 02).

Cititorul poate urmări aceste subgrafuri în fig. VII.24—VII.30 (v. planșele de la sfîrșitul cărții).

Se poate constata că grafurile de dare în funcțiune ale rețelelor (v. fig. VII.25—VII.30) au fost desenate pe scheme ale rețelelor respective, ceea ce ușurează redactarea și urmărirea acestor subgrafuri.

La elaborarea subgrafului privind darea în funcțiune a drumurilor s-a considerat avantajos să se adopte următoarea succesiune: se execută în primă urgență tronsonul *1—2* care este mai scurt și are lucrări subterane mai puține. Se asigură în același timp într-un timp mai scurt alimentarea cu apă a șantierului la punctele de lucru (execuția conductei de apă pe tronsonul *2—3* durează mai mult din cauza faptului că este prevăzută a fi pozată în canalul termoficării). În perioada execuției tronsonului *1—2* circulația se va asigura prin tronsonul *2—3*. Evenimentul *IC 2—3* (întrerupere circulație pe tronsonul *2—3*) este condiționat de darea în funcțiune *Ev. D 1—2*. Astfel, cu ajutorul grafului se poate urmări cu atenție asigurarea accesului permanent, în bune condiții la punctele de lucru.

Darea în funcțiune a tronsonului *2—3* condiționează darea în funcțiune a locuințelor, pentru a se crea locatarilor accesul prin Bulevardul *B*.

VIII

CALCULUL ELEMENTAR AL PROGRAMULUI

Calculul programului are următoarele scopuri:
— stabilirea duratei întregului proiect;
— stabilirea termenelor de începere și terminare pentru toate operațiile;
— stabilirea marjelor;
— stabilirea operațiilor critice și subcritice.

Scanned with OKEN Scanner

Calculul elementar al programului se bazează exclusiv pe succesiunea operaţiilor stabilită prin graf şi pe duratele operaţiilor, fără să se ţină seama de disponibilul de resurse sau de necesitatea optimizării sub aspectul costului. Acest principiu de calcul ar putea să pară artificial şi nerealist. În realitate, calculul elementar al programului constituie numai o etapă intermediară, dar obligatorie, în procesul general de calcul al oricărui program, chiar în cazurile în care urmează să se ţină seama ulterior de toate condiţiile impuse.

Mai mult decît atît, după cum se va vedea în capitolele următoare, algoritmul* calculului elementar se foloseşte de repetate ori şi în fazele în care se optimizează programul în funcţie de costuri şi/sau resurse. Din acest motiv calculul elementar al programului (cunoscut în literatură şi sub denumirile CPM/TIME şi PERT/TIME) constituie *problema centrală a ordonanţării.*

1. DURATA ACTIVITĂŢII

După cum s-a văzut, elaborarea grafului constituie în primul rînd o problemă de logică. Dacă el nu conţine de la bun început greşeli de logică, în cazurile uzuale există o probabilitate redusă de apariţie a unor evenimente neprevăzute care să ne pună în imposibilitate de a respecta succesiunea pe care ne-am impus-o prin graf. Cu alte cuvinte, graful constituie o previziune, cu mare probabilitate de îndeplinire.

Situaţia nu este aceeaşi în ceea ce priveşte duratele activităţilor. Este foarte greu (dacă nu imposibil) de prevăzut durata exactă a unei operaţii viitoare, deoarece aceasta este influenţată de un număr mare de factori întîmplători imprevizibili, ca de exemplu: numărul de muncitori de care se va dispune, calificarea şi deci productivitatea lor, defecţiunile de utilaje, condiţiile atmosferice, calitatea materialelor, natura terenului etc. Aceasta face ca durata unei activităţi viitoare să fie o mărime *incertă*, pentru care există o probabilitate relativ mică de a putea fi prevăzută cu exactitate.

Din acest motiv, încă din prima sa variantă metoda PERT a luat în considerare durata fiecărei activităţi nu ca pe o mărime fixă, bine determinată, ci ca pe o mărime *aleatoare* (probabilistă), care poate lua valori întîmplătoare între două limite considerate cunoscute: durata *optimistă*, ca limită inferioară, durata *pesimistă*, ca limită superioară.

Cu ajutorul acestei tehnici de calcul se pot stabili probabilităţile cu care pot fi respectate anumite termene finale sau intermediare (v. în detaliu cap. X).

Acest procedeu este foarte recomandabil pentru programele de mare amploare, care se întind pe durate mari, conţinînd activităţi foarte complexe sau la care intervine necesitatea efectuării unor cercetări a căror durată şi rezultate nu pot fi estimate decît foarte aproximativ.

Dezavantajul principal al acestui procedeu îl constituie faptul că necesită calcule mai laborioase şi deci este mai costisitor.

---

* Algoritm = regulă de calcul.

Din acest motiv în planificarea operativă în construcții, unde duratele activităților elementare pot fi totuși apreciate, datorită experienței existente, cu o aproximație suficient de bună, se preferă să se adopte în locul duratelor probabilistice, durate *ferme*, *deterministe* sau *planificate*.

Alegerea duratei planificate trebuie făcută cu discernămînt.

Durata planificată a operației trebuie să fie realizabilă în condițiile concrete existente, dar în același timp suficient de mobilizatoare. Planificatorul trebuie să cunoască bine concentrarea de resurse (utilaje, muncitori, materiale) care trebuie realizată pentru respectarea acestei durate și consecințele economice ale acestei concentrări.

2. RELAȚIA DURATĂ — COST

Există, de cele mai multe ori, un mare număr de posibilități de a realiza anumite operații, fie apelînd la tehnologii diferite, la utilaje de diferite capacități, la diferite concentrări de muncitori, la diferite regimuri și programe de lucru (schimburi, ore suplimentare) și uneori chiar la soluții de proiect diferite (cînd problema duratei este analizată încă din faza de proiectare).

Astfel, construcția unei anumite hale date se poate face executînd prefabricatele pe loc sau la fabrică, cu unul sau mai multe seturi de cofraje, montînd prefabricatele cu una sau mai multe macarale; se poate lua în considerare chiar o modificare a scheletului de rezistență, de exemplu executarea lui parțială sau totală din metal. Fiecare din aceste soluții conduce la costuri și durate diferite.

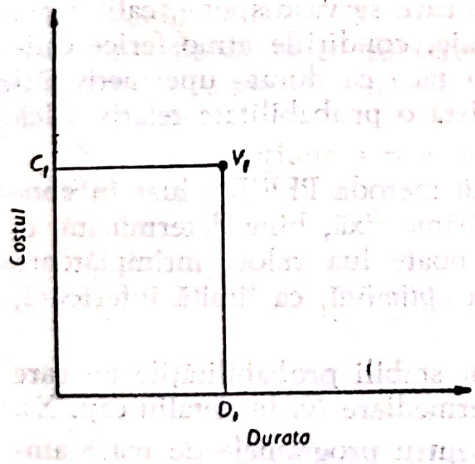


Fig. VIII.1

Dacă într-un sistem de axe de coordonate se reprezintă în abscisă durata iar în ordonată costul, fiecărei variante V_i de realizare a operației respective îi va corespunde un punct în planul celor două axe (fig. VIII.1).

Pentru exemplificare se va analiza cazul unei activități care constă în excavarea unei gropi de 2 000 m³.

Întreprinderea are disponibile excavatoare cu capacitatea cupei de 0,350 și 1,000 m³. Frontul de lucru nu permite folosirea a mai mult de două excavatoare simultan. Pămîntul din săpătură se evacuează cu ajutorul autobasculantelor.

Se cunosc următoarele date:

— costul deplasării dus-întors pentru un excavator de 0,350 m³ este 3 400 lei;

— costul deplasării dus-întors pentru un excavator de 1,000 m³ este de 6 000 lei; în aceste costuri au fost luate în considerare nu numai cheltuielile de transport propriu-zise ci și amortismentul și salariile mecanicilor pe care întreprinderea le suportă și pe perioada transportului;

— productivitatea orară corespunzătoare situației în care excavatorul lucrează continuu (fără să aştepte autobasculante):

la excavatorul de 0,350 m^3/cupă — 17 m^3/h;
la excavatorul de 1,000 m^3/cupă — 60 m^3/h;

— costul orar al utilajelor:

la excavatorul de 0,350 m^3/cupă — 40 lei/h;
la excavatorul de 1,000 m^3/cupă — 75 lei/h.

Se pot calcula astfel duratele şi costurile corespunzătoare pentru fiecare ipoteză posibilă:

a) 1 excavator de 0,350 m^3

— durata $\frac{2\,000}{17}=118$ h=15 zile;

— costul 118 h×40 lei/h+3 400 lei=4 700+3 400=8 100;

b) 1 excavator de 1,000 m^3

— durata $\frac{2\,000}{60}=33$ h=4 zile;

— costul 33 h×75 lei/h+6 000 lei=2 500+6 000=8 500;

c) 2 excavatoare de 0,350 m^3

— durata $\frac{2\,000}{2\times 17}=59$ h=8 zile;

— costul 2×59 h×40 lei/h+2×3 400 lei=11 500 lei;

d) 1 excavator de 1,000 m^3+1 excavator de 0,350 m^3

— durata $\frac{2\,000}{17+60}\times 26$ h=3 zile;

— costul 26 h×(40+75) lei/h+3 400 lei+6 000 lei=12 400 lei;

e) 2 excavatoare de 1,000 m^3

— durata $\frac{2\,000}{2\times 60}=17$ h=2 zile;

— costul 17×2×75+2×6 000=14 500 lei.

În fig. VIII.2 au fost reprezentate într-un sistem de coordonate durată-cost cele 5 puncte reprezentînd ipotezele a, b, c, d, e, în toate cazurile ziua de lucru fiind considerată de 8 h.

Dintre cele 5 ipoteze merită o atenție deosebită ipoteza a) ca fiind cea mai ieftină şi ipoteza e) ca fiind cea mai scurtă. Varianta c) nu este interesantă deoarece prezintă şi costul şi durata mai mari decît varianta b).

Dar în afară de aceste 5 ipoteze de bază mai pot fi luate în considerare şi altele. De exemplu, se pot calcula costurile şi duratele care corespund cazului în care se lucrează zilnic 1, 2 sau 3 ore suplimentare, luîndu-se în considerare sporurile de salariu care trebuie acordate mecanicilor şi şoferilor şi randamentul mai scăzut din orele suplimentare.

În fig. VIII.3 au fost figurate şi punctele care corespund acestor noi ipoteze.

În calculele de mai înainte, s-a presupus că excavatorul lucrează continuu, fără întreruperi pentru aşteptarea autobasculantelor. Dar aceasta presupune

Scanned with OKEN Scanner

existența unui anumit număr de autobasculante, iar această abundență, pe lîngă faptul că nu este totdeauna posibilă, nu este nici cea mai economică variantă de alocare a autobasculantelor. După cum se va vedea și la cap. XVI, pentru a se elimina practic complet așteptările excavatorului este necesar un număr mare de autobasculante care să formeze un permanent șir de așteptare la excavator;

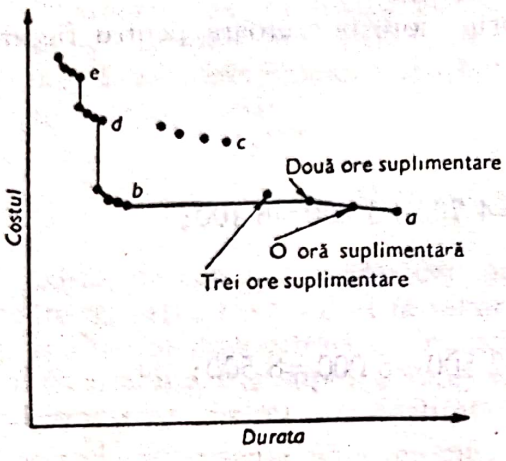


Fig. VIII. 2

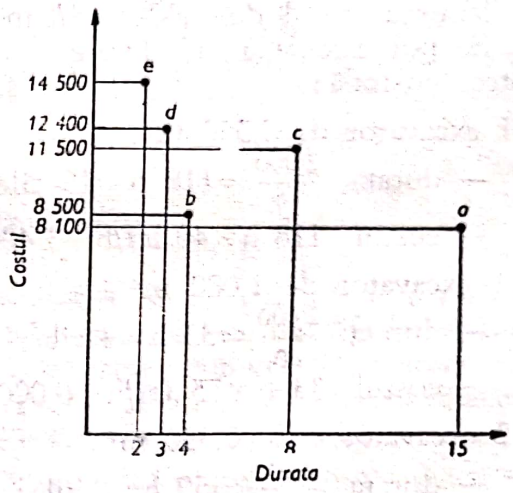


Fig. VIII. 3

lipsa de așteptare a excavatorului se plătește printr-o așteptare foarte îndelungată a unui număr mare de autobasculante. Soluția optimă se găsește pentru un număr mai mic de autobasculante, care face ca suma costurilor așteptărilor exacavatorului și autobasculantelor să fie minimă. Figura VIII.4 reprezintă grafic relația între numărul de autobasculante afectate excavatorului, costul excavației și durata ei. În fig. VIII.5 este reprezentată relația între durată și cost pentru diferite ipoteze de alocare a autobasculantelor. Și în această figură pot fi remarcate două puncte semnificative: D_M, durata minimă, sub care nu se poate coborî oricît de multe autobasculante s-ar adăuga, și D_N, durata corespunzătoare costului minim.

Figura VIII.5 reflectă, după cum s-a văzut, relația care există între durată și costul excavației în ipoteza că operația se execută cu un anumit excavator. Se pot trasa astfel de curbe pentru cele două tipuri de excavator de care dispunem și pentru combinațiile posibile de două excavatoare. Apoi aceste curbe pot fi desenate toate pe același grafic și se obține (fig. VIII.6) o reprezentare grafică a relației între durată și cost pentru operația de excavare studiată *în ipotezele formulate* privind mijloacele care vor putea fi puse la dispoziția șantierului.

Și pe această curbă pot fi remarcate cele două durate caracteristice D_M și D_N.

Se poate afirma deci că între durata unei activități și costul ei poate fi determinată prin calcul o relație cunoscută sub denumirea *relația durată-cost.*

Relația durată-cost poate lua forme diferite, uneori simple (v. fig. VIII.5), alte ori complexe (v. fig. VIII.6).

Scanned with OKEN Scanner

În unele cazuri, fiind exprimată într-un număr mare de puncte apropiate, relaţia poate fi considerată ca fiind continuă (v. fig. VIII.5), alte ori ea are un caracter discret (v. fig. VIII.2).

În toate cazurile pot fi puse în evidenţă două durate caracteristice: *durata minimă* şi durata corespunzătoare unui cost minim denumită *durată normală*. Costul care corespunde duratei minime se denumeşte *costul urgenţei maxime*.

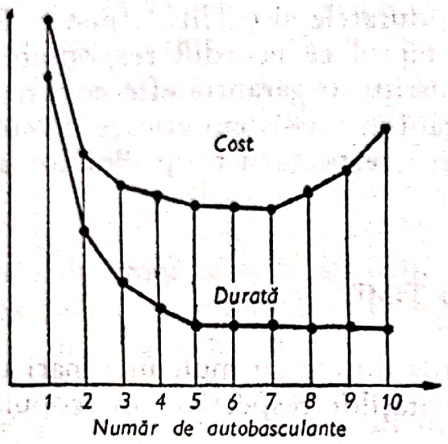


Fig. VIII. 4

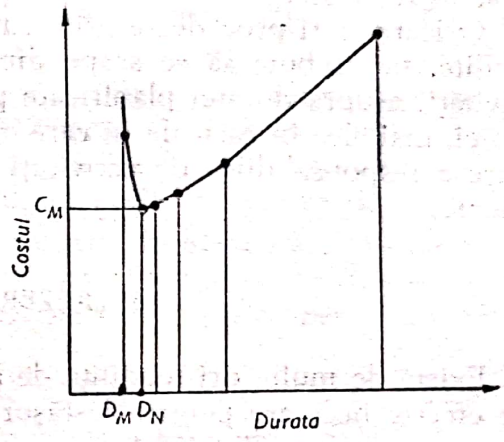


Fig. VIII. 5

Este important de reţinut că relaţiile cost-durată depind de ipotezele de bază care au fost avute în vedere la determinarea lor; ele au deci un caracter relativ.

În cazul exemplificat curbele stabilite se referă numai la numărul şi tipul excavatoarelor şi autobasculantelor care au fost luate în calcul.

Durata normală este în general, durata care poate fi realizată cu o concentrare raţională de forţe de muncă şi de utilaje (astfel încît acestea să nu se stingherească reciproc), cu o intensitate raţională a muncii (astfel încît să se asigure calitatea bună a produsului), fără apel la ore suplimentare sau la schimburi de noapte, în care randamentul este scăzut şi salariile sporite.

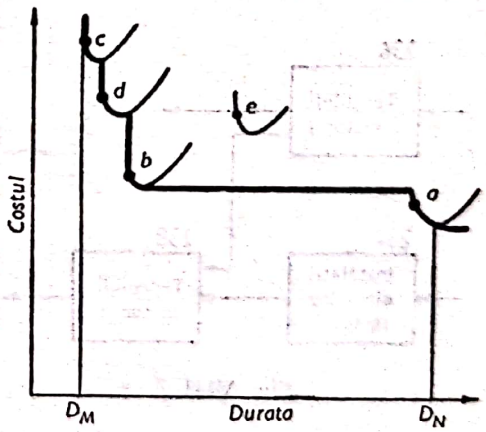


Fig. VIII. 6

Durata normală poate fi calculată cu suficientă uşurinţă şi precizie pentru operaţiile simple cînd se cunosc: volumul de lucrări, normele de lucru pentru echipe şi utilaje, coeficienţii probabili de depăşire ai normelor, formaţiile minime şi frontul de lucru optim pentru formaţia minimă sau pentru utilaj, frontul de lucru efectiv al lucrării etc.

Există şi cazuri în care duratele normale şi minime nu pot fi calculate, ele trebuind să fie apreciate de către practicieni cu experienţă.

Revenind la problema alegerii duratelor, în vederea calculării programului, planificatorul are de ales deci, în funcție de obiectivul principal al întreprinderii, între două alternative:

— dacă obiectivul principal este realizarea lucrării într-un termen minim, va alege de preferință duratele minime;

— dacă obiectivul principal este asigurarea unei economii maxime, va alege duratele normale.

Oricare ar fi procedeele prin care se aleg duratele și oricît de just ar fi ele stabilite, nu trebuie să se scape din vedere faptul că acordul responsabilului activității asupra duratei planificate poate constitui o garanție eficace a respectării ei, mai ales în cazurile în care există organizat un sistem eficace de cointeresare a responsabililor de activități în vederea respectării propriilor lor angajamente.

3. „REZERVELE DE TIMP"

Există de multe ori tendința de a se acorda durate cu mult mai mari decît cele efectiv necesare pentru desfășurarea activităților respective, în scopul creerii unor „rezerve de timp".*

Acest procedeu nu este întotdeauna rațional din două motive:

1) Creează discontinuitate în folosirea forței de muncă.

Pentru a exemplifica această observație să analizăm fragmentul de graf reprodus în fig. VIII.7 care conține activitățile „tencuieli" la sectoarele I și II ale unei construcții și activitatea „instalații electrice" care condiționează începerea tencuielilor la sectorul II. Activitatea *236* condiționează activitatea *238* ca urmare a faptului că ambele se execută de aceeași echipă.

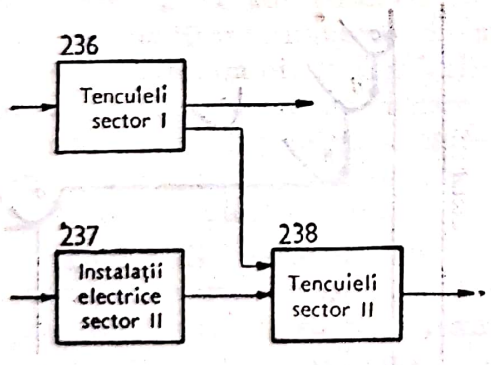


Fig. VIII.7

Să presupunem că pentru activitatea *236* a fost planificată o durată de 10 zile, deși durata previzibilă este de 6 zile; ca urmare, activitatea *238* va fi amînată în mod artificial cu circa 4 zile. Această amînare creează posibilitatea amînării cu 4 zile și a activității *237* și eventual al altor activități precedente ale acesteia. Ca urmare, apare posibilitatea ca la terminarea activității *236*, activitatea *237* nefiind terminată, echipa de tencuitori să nu aibă front de lucru asigurat.

2) Rezervele de timp risipite arbitrar la fiecare activitate lungesc în mod nejustificat și necontrolat lucrarea și nu permit să se imprime programului un caracter mobilizator.

---

* Unii autori folosesc denumirea de „rezerve de timp" cu semnificația de „marjă". În această lucrare această expresie are un alt înțeles: este vorba de rezerve create în mod artificial, voluntar, și nu rezultate din calculul termenelor.

Scanned with OKEN Scanner

Introducerea nerațională de rezerve de-a lungul întregului program conduce la consumarea lor inerentă, indiferent dacă au apărut sau nu factori imprevizibili de întîrziere. În schimb, dacă în ultima parte a programului apare un accident mai important, există pericolul ca din lipsa unei rezerve suficiente, termenul să fie depășit. Este deci mult mai rațional ca rezerva de timp să fie păstrată la sfîrșitul programului, prin asigurarea unui decalaj corespunzător între termenul calculat și cel contractat. Pe măsură ce apar factori de întîrziere, programul se recalculează operativ, consumîndu-se astfel treptat rezerva pe măsură ce apare necesitatea și numai la momentul oportun.

Ideea păstrării de rezerve și pe parcursul programului nu trebuie însă total părăsită, dar ea trebuie realizată altfel decît prin alocarea unor durate nejustificat de mari pentru operații. Procedeul care poate fi folosit este de a se prevedea în graf „activități fictive" avînd o durată egală cu rezerva de timp dorită.

În felul acesta, rezervele de timp sînt scoase în evidență și nu rămîn mascate sub formă de durate; în consecință coordonatorul programului poate avea controlul asupra lor. În același timp, duratele afectate operațiilor propriu-zise sînt mobilizatoare.

Cînd în graf există activități care fac apel la resurse rare și scumpe (utilaje grele speciale, specialiști de înaltă calificare, materiale perisabile) a căror stagnare ar fi foarte costisitoare și care datorită solicitării de către alte șantiere, nu pot fi replanificate cu ușurință, este util ca aceste activități să fie precedate de astfel de activități fictive de siguranță (fig. VIII.8).

Prevederea de rezerve sub formă de activități fictive este utilă și în cazurile în care în cadrul întreprinderii este instaurat un sistem de planificare coordonată, cu ajutorul grafurilor, a tuturor proiectelor care se execută simultan, sistem prin care se urmărește o folosire cît mai judicioasă a resurselor la scara întregii întreprinderi (în mod normal astfel de sisteme de coordonare folosesc calculatoarele electronice pentru efectuarea calculelor). În asemenea cazuri, întîrzierile care apar în cadrul unui proiect au repercusiuni asupra tuturor celorlalte proiecte, conducînd la necesitatea recalculării frecvente a tuturor programelor, ceea ce pe lîngă faptul că ar provoca cheltuieli foarte mari, ar produce și o mare instabilitate a programelor.

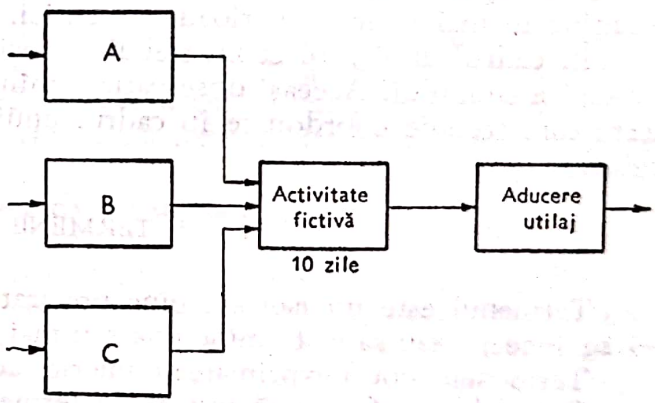


Fig. VIII.8

În concluzie, este recomandabil să se prevadă rezerve de timp sub două forme:

— rezerve pe parcursul programului prin introducerea de activități fictive;
— o rezervă generală la sfîrșitul programului.

Evident, cuantumul total al acestor rezerve trebuie stabilit în mod judicios, astfel încît costurile provocate de lungirea duratei totale să nu fie mai mari decît avantajele obținute prin introducerea rezervelor.

4. UNITATEA DE MĂSURĂ A TIMPULUI

În principiu, se poate alege orice unitate de măsură a timpului, convenabilă pentru programul studiat: minutul, ora, schimbul, ziua, săptămîna, luna, trimestrul, anul.

În construcții sînt uzuale următoarele unități:

— ora, pentru studiul proceselor de muncă;

— ziua, pentru planificarea operativă;

— săptămîna, pentru planificarea estimativă care se face în primele faze ale proiectării (de exemplu la faza de studiu).

Foarte convenabilă se dovedește a fi unitatea de măsură compusă, de tipul: S/Z, în care S este numărul de săptămîni, iar Z fracțiunea de săptămînă, exprimată în zile. De exemplu, durata $5/3$ se citește cinci săptămîni și trei zile, (adică 33 zile lucrătoare, în cazul în care săptămîna are 6 zile lucrătoare).

Adunarea a două durate exprimate astfel se face adunînd separat cele două părți; dacă numărul de zile rezultat este mai mic decît 6, rezultatul obținut este cel definitiv. De exemplu: $3/2+5/3=8/5$ S/Z. Dacă numărul de zile rezultat este mai mare sau egal cu 6, rezultatul se transformă scăzînd 6 din numărul de zile și adăugînd 1 la numărul săptămînilor.

De exemplu: $1/4+2/3=3/7=4/1$ S/Z.

Avantajul acestei unități de măsură constă în faptul că termenele pot fi identificate mai ușor în perioada execuției.

În cadrul unui proiect nu trebuie folosit decît un singur tip de unitate de măsură a timpului. Aceeași observație rămîne valabilă pentru grupurile de proiecte care trebuie coordonate în cadrul unui program unic de alocare a resurselor.

5. TERMENE

Termenul este un *moment* bine precizat în timp, la care *poate* sau *trebuie* să se înceapă sau să se termine una sau mai multe activități.

Termenele pot fi exprimate: numeric sau calendaristic.

Calculele se efectuează numai cu termene numerice, care pot fi transformate ulterior în termene calendaristice.

a. EXPRIMAREA NUMERICĂ A TERMENULUI

Convenție. Prin termenul N se înțelege momentul terminării unității de timp nr. N.

Este important să nu se confunde deci termenul N cu unitatea de timp nr. N. La numerotarea unităților de timp se iau în considerare numai cele lucrătoare.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă unitatea de timp este ora, convenţia făcută coincide cu limbajul obişnuit: se spune că este ora 10 în momentul în care se încheie cea de a zecea oră a zilei.

Dacă unitatea de timp este ziua, termenul N este momentul terminării zilei de lucru nr. N; acest moment poate fi considerat fie ora 24,00, fie, cum este mai uzual, ora terminării schimbului de noapte, de exemplu ora 7,00 a zilei următoare.

Este important de remarcat faptul că termenul N este nu numai momentul terminării unităţii de timp N ci şi momentul începerii unităţii de timp $N+1$. De aceea, în baza convenţiei de mai înainte, o activitate care începe *la termenul* N, începe de fapt *în unitatea de timp* $N+1$. De exemplu, activitatea care începe la ora 16,00 începe de fapt în cea de a 17-a oră a zilei. Activitatea care are termenul de începere 25 (exprimat în zile), va începe de fapt în ziua a 26-a.

După cum se va vedea, această convenţie conduce la reguli foarte simple de calcul. În schimb, în momentul interpretării termenelor de începere, trebuie să se ţină seama de implicaţiile arătate.

Termenul 0 este, în baza convenţiei făcute, momentul începerii zilei 1.

Exprimarea numerică a termenelor presupune precizarea datei calendaristice a momentului 0, de la care începe numerotarea unităţilor de timp, astfel încît să se poată face o corespondenţă între toate termenele numerice calculate şi termenele calendaristice corespunzătoare.

Momentul 0 se alege în mod obişnuit 1 ianuarie al anului curent, sau al unui an oarecare din trecut.

În cadrul unei aceleiaşi întreprinderi se recomandă ca pentru toate proiectele să se adopte acelaşi moment 0 pentru ca toate termenele să fie comparabile.

În situaţiile în care nu se cunoaşte termenul efectiv la care va începe desfăşurarea programului şi calculele se fac nu în vederea planificării propriuzise, ci pentru a se determina durata proiectului şi a se studia posibilitatea reducerii ei (cum este cazul studierii grafurilor tip), se alege ca termen 0 chiar momentul începerii programului. Termenele astfel calculate sînt termene relative.

b. TERMENE CALENDARISTICE

Termenele calendaristice, exprimate în forma bine cunoscută „zi—lună—an", se obţin prin transformarea termenelor numerice rezultate din calcule. Transformarea se poate face în cazul în care calculele se efectuează manual cu ajutorul *tabelelor de corespondenţă* (tabelul VIII.1). În cazul în care unitatea de măsură este săptămînă/zi, tabelul de corespondenţă este mult simplificat, deoarece nu trebuie să conţină corespondenţa decît pentru zilele de luni ale fiecărei săptămîni (tabelul VIII.2).

Cînd calculele se efectuează cu ajutorul calculatoarelor electronice, transformarea în termene calendaristice poate fi făcută chiar de calculator. În mod obişnuit, calculatoarele electronice sînt programate să dea pentru termenele de începere chiar data zilei în care începe activitatea respectivă (nu data zilei precedente, cum s-a arătat că rezultă din calculul cu termene numerice). Termenele de terminare sînt exprimate de data zilei în care se termină activitatea.

Scanned with OKEN Scanner

Ziua	Ianuarie		Februarie		Martie		Aprilie		Mai		Iunie	
	1968	1969	1968	1969	1968	1969	1968	1969	1968	1969	1968	1969
1	×	×	26	334	51	358	77	384	×	×	128	×.
2	×	×	27	×.	52	×.	78	385	×	×	×.	435
3	1	309	28	335	×.	359	79	386	103	410	129	436
4	2	310	×.	336	53	360	80	387	104	×.	130	437
5	3	×.	29	337	54	361	81	388	×.	411	131	438
6	4	311	30	338	55	362	82	×.	105	412	132	439
7	×.	312	31	339	56	363	×.	389	106	413	133	440
8	5	313	32	340	57	364	83	390	107	414	134	×.
9	6	314	33	×.	58	×.	84	391	108	415	×.	441
10	7	315	34	341	×.	365	85	392	109	416	135	442
11	8	316	×.	342	59	366	86	393	110	×.	136	443
12	9	×.	35	343	60	367	87	394	×.	417	137	444
13	10	317	36	344	61	368	88	×.	111	418	138	445
14	×.	318	37	345	62	369	×	395	112	419	139	446
15	11	319	38	346	63	370	89	396	113	420	140	×.
16	12	320	39	×.	64	×.	90	397	114	421	×.	447
17	13	321	40	347	×.	371	91	398	115	422	141	448
18	14	322	×.	348	65	372	92	399	116	×.	142	449
19	15	×.	41	349	66	373	93	400	×.	423	143	450
20	16	323	42	350	67	374	94	×.	117	424	144	451
21	×.	324	43	351	68	375	×.	401	118	425	145	452
22	17	325	44	352	69	376	95	402	119	426	146	×.
23	18	326	45	×.	70	×.	96	403	120	427	×.	453
24	19	327	46	353	×.	377	97	404	121	428	147	454
25	20	328	×.	354	71	378	98	405	122	×.	148	455
26	21	×.	47	355	72	379	99	406	×.	429	149	456
27	22	329	48	356	73	380	100	×.	123	430	150	457
28	×.	330	49	357	74	381	×.	407	124	431	151	458
29	23	331	50	—	75	382	101	408	125	432	152	×.
30	24	332	—	—	76	×.	102	409	126	433	×.	459
31	25	333	—	—	×.	383	—	—	127	434	—	—

Notă ×. = duminica
× = alte sărbători legale.

Scanned with OKEN Scanner

civil şi cel convenţional

Tabelul VIII.1

Iulie		August		Septembrie		Octombrie		Noiembrie		Decembrie		Ziua
1968	1969	1968	1969	1968	1969	1968	1969	1968	1969	1968	1969	
153	460	180	487	× .	512	230	538	257	565	× .	590	1
154	461	181	488	205	513	231	539	258	× .	283	591	2
155	462	182	× .	206	514	232	540	× .	566	284	592	3
156	463	× .	489	207	515	233	541	259	567	285	593	4
157	464	183	490	208	516	234	× .	260	568	286	594	5
158	× .	184	491	209	517	× .	542	261	569	287	595	6
× .	465	185	492	210	× .	235	543	262	570	288	× .	7
159	466	186	493	× .	518	236	544	263	571	× .	596	8
160	467	187	494	211	519	237	545	264	× .	289	597	9
161	468	188	× .	212	520	238	546	× .	572	290	598	10
162	469	× .	495	213	521	239	547	265	573	291	599	11
163	470	189	496	214	522	240	× .	266	574	292	600	12
164	× .	190	497	215	523	× .	548	267	575	293	601	13
× .	471	191	498	216	× .	241	549	268	576	294	× .	14
165	472	192	499	× .	524	242	550	269	577	× .	602	15
166	473	193	500	217	525	243	551	270	× .	295	603	16
167	474	194	× .	218	526	244	552	× .	578	296	604	17
168	475	× .	501	219	527	245	553	271	579	297	605	18
169	476	195	502	220	528	246	× .	272	580	298	606	19
170	× .	196	503	221	529	× .	554	273	581	299	607	20
× .	477	197	504	222	× .	247	555	274	582	300	× .	21
171	478	198	505	× .	530	248	556	275	583	× .	608	22
172	479	×	×	223	531	249	557	276	× .	301	609	23
173	480	×	× .	224	532	250	558	× .	584	302	610	24
174	481	× .	506	225	533	251	559	277	585	303	611	25
175	482	199	507	226	534	252	× .	278	586	304	612	26
176	× .	200	508	227	535	× .	560	279	587	305	613	27
× .	483	201	509	228	× .	253	561	280	588	306	× .	28
177	484	202	510	× .	536	254	562	281	589	× .	614	29
178	485	203	511	229	537	255	563	282	× .	307	615	30
179	486	204	× .	—	—	256	564	—	—	308	616	31

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul VIII.2

1968				1969			
Nr. săptămîni	Data	Nr. săptămîni	Data	Nr. săptămîni	Data	Nr. săptămîni	Data
1	01.01	28	08.07	54	06.01	81	14.07
2	08.01	29	15.07	55	13.01	82	21.07
3	15.01	30	22.07	56	20.01	83	28.07
4	22.01	31	29.07	57	27.01	84	03.08
5	29.01	32	05.08	58	03.02	85	10.08
6	05.02	33	12.08	59	10.02	86	17.08
7	12.02	34	19.08	60	17.02	87	24.08
8	19.02	35	26.08	61	24.02	88	31.08
9	26.02	36	02.09	62	03.03	89	07.09
10	04.03	37	09.09	63	10.03	90	16.09
11	11.03	38	16.09	64	17.03	91	23.09
12	18.03	39	23.09	65	24.03	92	30.09
13	25.03	40	30.09	66	31.03	93	07.10
14	01.04	41	07.10	67	07.04	94	14.10
15	08.04	42	14.10	68	14.04	95	21.10
16	15.04	43	21.10	69	21.04	96	28.10
17	22.04	44	28.10	70	28.04	97	03.11
18	29.04	45	04.11	71	05.05	98	10.11
19	06.05	46	11.11	72	12.05	99	17.11
20	13.05	47	18.11	73	19.05	100	24.11
21	20.05	48	25.11	74	26.05	101	01.12
22	27.05	49	02.12	75	02.06	102	08.12
23	03.06	50	09.12	76	09.06	103	15.12
24	10.06	51	16.12	77	16.06	104	22.12
25	17.06	52	23.12	78	23.06	105	29.12
26	24.06	53	30.12	79	30.06		
27	01.07			80	07.07		

Notă: Nr. săptămînii și data corespondentă coincid cu ziua de „luni".

c. TERMENE OBLIGATE

Termenele *obligate* sau *impuse* sînt termene dictate de condiții exterioare proiectului respectiv. În general, termenele obligate se afectează evenimentelor marginale (inițiale și finale). Evenimentele inițiale primesc în general termene de realizare cel mai devreme, iar cele finale, termene de realizare cel mai tîrziu.

6. ATAȘAREA DURATELOR LA ELEMENTELE GRAFULUI

Există mai multe posibilități de a atașa duratele elementelor grafului.

1) *Duratele se atașază nodurilor care reprezintă activități.* Această posibilitate a fost exemplificată în cap. V. În această variantă se calculează pentru fiecare operație atît termenul de începere cît și termenul de terminare. Procedeul are dezavantajul că suprapunerea activităților se reprezintă mai greoi. Acest procedeu este caracteristic metodei PERT — Olivetti.

Scanned with OKEN Scanner

2) *Duratele se atașază arcelor* (fig. VIII.9, *a*). În această variantă se calculează numai termenele de începere ale operațiilor. Varianta este cunoscută sub denumirea de *metoda potențialelor* și a fost elaborată de B. Roy.

Adoptînd notațiile:

t_i, t_j — termenele de începere ale operațiilor i și j;

d_{ij} — durata afectată arcului $i-j$,

prin convenție, între aceste elemente există relația:

$$t_j > t_i + d_{ij}$$

pentru orice pereche de noduri i, j legate printr-un arc, $i-j$, de unde

$$t_j - t_i > d_{ij}. \qquad \text{(VIII.1)}$$

Semnificația duratei d_{ij} este deci: intervalul minim de timp care trebuie să despartă începutul operației j de începutul operației i.

Acest interval nu are deci o legătură directă cu durata operației i, el putînd fi mai mare, mai mic sau egal cu această durată.

Consecința imediată a acestei observații este că duratele afectate diferitelor arce care pornesc din același nod nu trebuie să fie neapărat egale. Figura VIII.9, *b* reprezintă un caz concret în care cele două durate au fost prevăzute inegale: durata 4 este durata totală a efectuării săpăturii cu ajutorul excavatorului în sectorul 1, după care excavatorul poate fi mutat în sectorul 2; săpătura manuală în sectorul 1 a fost prevăzută să înceapă după numai 2 zile, adică după ce s-a creeat frontul necesar pentru efectuarea săpăturilor manuale.

Reiese deci un avantaj important al acestui sistem în ceea ce privește reprezentarea foarte comodă a suprapunerii operațiilor legate în serie. În schimb nu se pune în evidență durata propriu-zisă a activităților și termenele de terminare, motiv pentru care sistemul este mai puțin recomandabil pentru urmărirea operativă a lucrărilor.

O altă caracteristică importantă a acestui sistem o constituie posibilitatea reprezentării unor condiționări de forma: „operația j poate să înceapă la minimum d zile de la începerea operației i, dar nu mai tîrziu de D zile de la începerea operației k (în particular k poate fi egal cu i).

Convenim să denumim astfel de condiționări, *condiționări maximale*, spre deosebire de condiționările obișnuite care sînt în fond *condiționări minimale*.

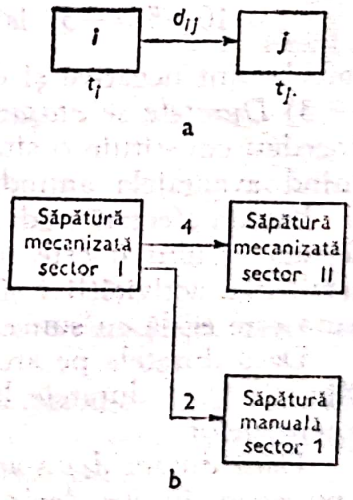


Fig. VIII. 9

Astfel de condiționări apar destul de des în practică. Este vorba de exemplu de condiția ca operația de betonare a fundațiilor să nu întîrzie față de operația de săpături, pentru a se evita degradarea terenului de fundație; injectarea cablurilor de beton precomprimat nu trebuie să întîrzie după pretensionare, pentru a se evita fenomenul de coroziune sub tensiune; aducerea unui utilaj să nu preceadă cu mult timp momentul începerii operației care are nevoie de el.

Scanned with OKEN Scanner

Modul de reprezentare este redat în fig. VIII.10, *a* care se citește astfel: operația *j* poate începe cel mai devreme la 5 zile după începerea operației *i* și trebuie să înceapă la maximum 10 zile de la începerea operației *i*.

Într-adevăr, conform relației (VIII.1):

$$t_j - t_i \geqslant d_{ij};\ t_j - t_i \geqslant 5;$$

$$t_i - t_j \geqslant d_{ji};\ t_i - t_j \geqslant -10;$$

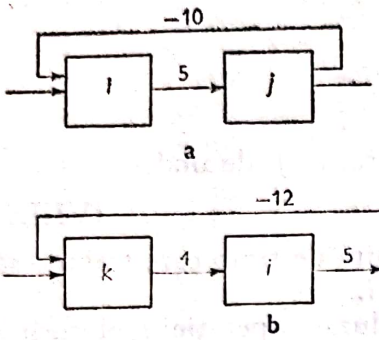


Fig. VIII.10

de unde

$$t_j - t_i \leqslant 10$$

deci

$$5 \leqslant t_j - t_i \leqslant 10.$$

După cum se constată, în fig. VIII.10, *a* a apărut un circuit.

În metoda potențialelor circuitele nu constituie totdeauna o absurditate. Se demonstrează că:

Condiția necesară și suficientă ca un graf să fie compatibil este ca toate circuitele pe care le conține să aibă valoarea nepozitivă (mai mică sau egală cu zero).

Circuitul din fig. VIII.10, *a* are valoarea:

$-10+5=-5$, iar cel din fig. VIII.10, *b*: $-12+4+5=-3$.

Ambele sînt negative și deci grafurile din care fac parte au sens.

3) *Duratele se atașază atît activităților cît și arcelor** (fig. VIII.11). Acest procedeu constituie o sinteză a celor două procedee descrise mai înainte, combinînd avantajele amîndurora.

Durata afectată nodului constituie însăși durata activității respective. Durata afectată arcului *ij* este intervalul minim de timp care trebuie prevăzut între terminarea activității *i* și începerea activității *j*. În acest sistem, valoarea unui drum este egală cu suma duratelor nodurilor și arcelor de pe acel drum.

Dacă duratele pe arce sînt 0, sîntem în cazul particular al metodei PERT-Olivetti. Dacă duratele la noduri sînt 0 sîntem în cazul particular al metodei potențialelor.

Dacă durata d_{ij} a arcului *ij* este pozitivă, aceasta indică faptul că operația *j* nu poate începe decît la minimum d_{ij} zile după terminarea lui *i*. Dacă d_{ij} este negativ, *j* poate începe cel mai devreme cu d_{ij} zile înainte de terminarea lui *i*.

Exprimarea algebrică este următoarea:

$$ID(J) - TD(I) \geqslant d_{ij}$$

$$IT(J) - TT(I) \geqslant d_{ij}.$$

* Procedeu propus de ing. D. Anastasiu.

Suma duratei de pe arc și a oricărei dintre duratele celor două operații adiacente trebuie să fie strict pozitivă.

În caz contrar ar rezulta că cea de a doua operație să înceapă sau să se termine înainte de începerea (respectiv terminarea) primei operații și deci condiționarea este lipsită de sens (v. și fig. VI.24).

Pentru operațiile din fig. VIII.11 trebuie efectuate verificările:

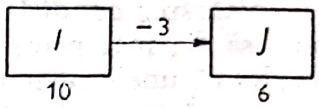


Fig. VIII.11

$$10+(-3)=+7\geqslant 0$$

$$-3+6=+3\geqslant 0.$$

Pentru simplitate și evitarea erorilor, convenim asupra următoarelor reguli:

— nu este necesar să se specifice durata afectată arcului dacă aceasta este 0;

— în cazul arcelor lungi, durata afectată arcului se înscrie în apropierea vîrfului arcului.

Și în acest sistem se pot reprezenta condiționări maximale.

O posibilitate este aceea de a se folosi arce cu sens invers și cu durate negative Figura VIII.12, *a* se interpretează astfel:

$$ID(J)-TD(I)\geqslant -2 \qquad ID(J)\geqslant TD(I)-2 \qquad \text{(VIII.2)}$$

$$ID(I)-TD(J)\geqslant -11 \qquad ID(J)\leqslant ID(I)+11 \qquad \text{(VIII.3)}$$

$$TD(I)=ID(I)+4 \qquad \text{(VIII.4)}$$

$$TD(J)=ID(J)+6. \qquad \text{(VIII.5)}$$

Presupunînd că $ID(I)=0$, rezultă:

din (VIII.4) $TD(I)=0+4=4$

din (VIII.2) $ID(J)\geqslant 4-2=2$

din (VIII.5) $TD(J)\geqslant 2+6=8$

din (VIII.3) $TD(J)\leqslant 0+11=11.$

Deci operația J se poate termina la 8 dar nu trebuie să depășească termenul 11, în cazul în care operația I începe la termenul 0.

După cum se vede, și în acest procedeu pot apărea circuite. Condiția necesară și suficientă pentru ca circuitul să fie compatibil este ca valoarea lui totală să fie negativă. În exemplul din fig. VIII.12, *a* valoarea este:

$$4-2+6-11=-3$$

deci circuitul este compatibil.

Totuși introducerea circuitelor produce dificultăți de calcul. De aceea este recomandabilă folosirea altui sistem pentru reprezentarea condiționărilor maximale: între operațiile între care intervine condiționarea maximală se prevede un arc, avînd sensul normal, pe care se înscrie intervalul maxim admisibil între terminarea primei activități și începerea celei următoare.

Scanned with OKEN Scanner

Intervalul poate fi și negativ. Pentru a pune în evidență că este vorba de un interval maximal valoarea lui trebuie precedată de un M.

Figura VIII.12, *b* are aceeași semnificație cu fig. VIII.12, *a*; fig. VIII.12, *c* și *d*, reprezintă sub formă de grafic cu bare, situațiile extreme în care se pot găsi cele două operații *I* și *J*.

Valoarea condiționării maximale nu poate fi oricare. Este evident că ea trebuie să fie mai mare decît valoarea condiționării minimale; în caz contrar ar rezulta că unele operații ar trebui să înceapă înainte ca ele să poată să înceapă.

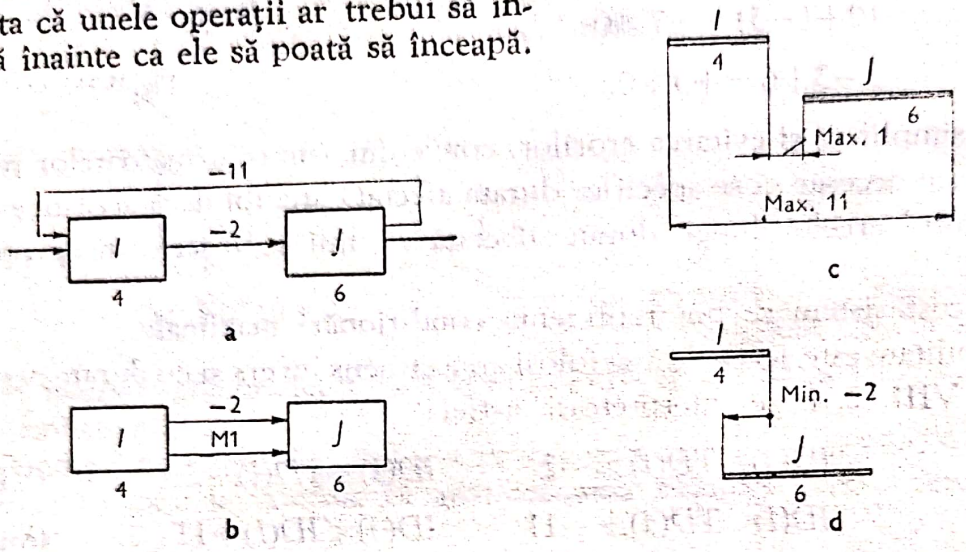


Fig. VIII.12

De aici rezultă că: valoarea unei condiționări maximale între două operații *I* și *J* trebuie să fie mai mare decît valoarea celui mai mare drum (format din condiționări minimale) dintre operațiile *I* și *J*.

În fig. VIII.13 între operațiile *1* și *5* există:

— o condiționare maximală cu valoarea 21;

— drumul (*1*)—2—(*5*) — cu valoarea +2+12+3=17 (nu se iau în calcul duratele operațiilor extreme);

— drumul (1)—3—4—(5) cu valoarea: −4+14−2+5−1=12.

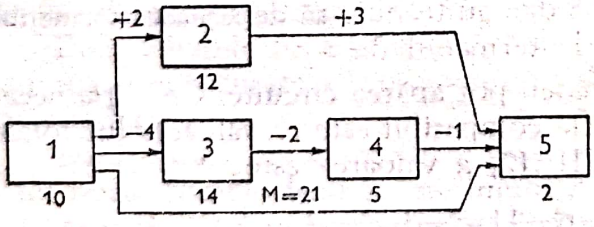


Fig. VIII. 13

Valoarea condiționării maximale *1—5* este mai mare decît valoarea celui mai mare drum (care este 17) și deci ansamblul duratelor prevăzute de graful din fig. VIII.13 este compatibil.

Efectul acestei condiționări maximale este că, dacă din diverse motive (alte condiționări, indisponibilități de resurse), operația 5 este planificată la un termen mai îndepărtat, aceasta atrage după sine replanificarea operației *1* la un termen care să respecte condițiile de minimum și maximum față de operația 5.

Se creează deci o legătură mai rigidă între operaţiile *1* şi *5*, care au devenit operaţii *legate* sau *solidarizate*.

Dacă valoarea condiţionării maximale este 0, cele două operaţii trebuie executate în mod obligatoriu în continuare.

7. EFECTUAREA CALCULELOR

Există mai multe procedee de efectuare a calculelor termenelor dintre care următoarele prezintă mai mult interes practic:

a) fără ajutorul calculatoarelor electronice
— direct pe schemă;
— în tabel;
b) cu ajutorul calculatoarelor electronice.

În cursul acestui capitol se vor expune numai regulile calculelor efectuate fără calculatoare. Utilizarea calculatoarelor va fi tratată la cap. XII.

a. CALCULUL PE SCHEMĂ

Calculul pe schemă a fost expus în principiu în cadrul cap. V.

Organizarea calculului poate fi perfecţionată adoptînd pentru nod un format în interiorul căruia să existe cîte o casetă pentru fiecare informaţie privind activitatea respectivă. Un exemplu de astfel de format este dat în fig. VIII. 14.

Evenimentele se iau în calcul ca activităţi de durată nulă. La evenimente noţiunile *începere* şi *terminare* nu au sens; apare în locul acestora noţiunea de *realizare* şi ca urmare va fi vorba de termene de realizare cel mai devreme (*RD*) şi cel mai tîrziu (*RT*).

Pe schemă termenele *RD* şi *RT* se înscriu de obicei într-un dreptunghiu cu două casete, desenat în apropierea evenimentului respectiv.

Figura VIII.15 reprezintă pentru exemplificare calculul pentru un graf de dimensiuni mici, avînd cîte un singur eveniment iniţial şi final.

Lăsăm în seama cititorului să reconstituie singur mersul calculului pe baza regulilor expuse în continuare.

1) *Calculul termenelor „cel mai devreme"* (programul minorant) se efectuează de la nodul iniţial (sau nodurile iniţiale) spre nodul final (nodurile finale).

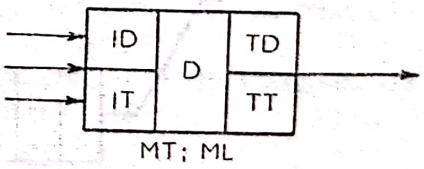


Fig. VIII. 14

Termenul de începere al unei activităţi *J* este egal cu cel mai mare dintre termenele de terminare (respectiv realizare), ale nodurilor care preced direct pe *J*.*

$$ID(J)=\text{MAX}\ \{TD(I)\}$$

unde $\{TD(I)\}$ este mulţimea termenelor de terminare cel mai devreme ale nodurilor *I*, direct precedente pentru *J*. Fie *I* nodul precedent căruia îi corespunde

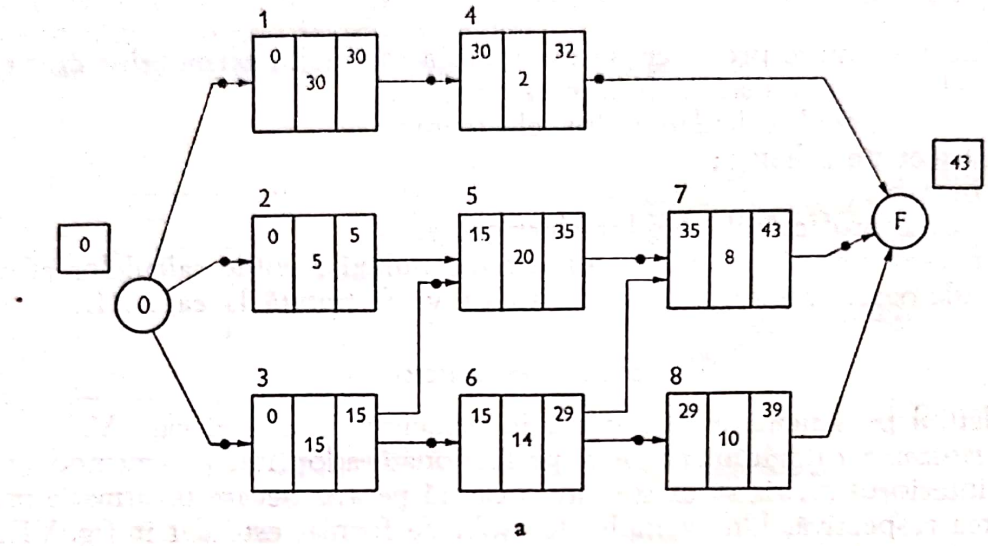
* Pentru notaţii v. cap. V.

cel mai mare termen de terminare. Acest nod poartă denumirea de *nod minorant al nodului J* şi va fi desemnat prin I_0.

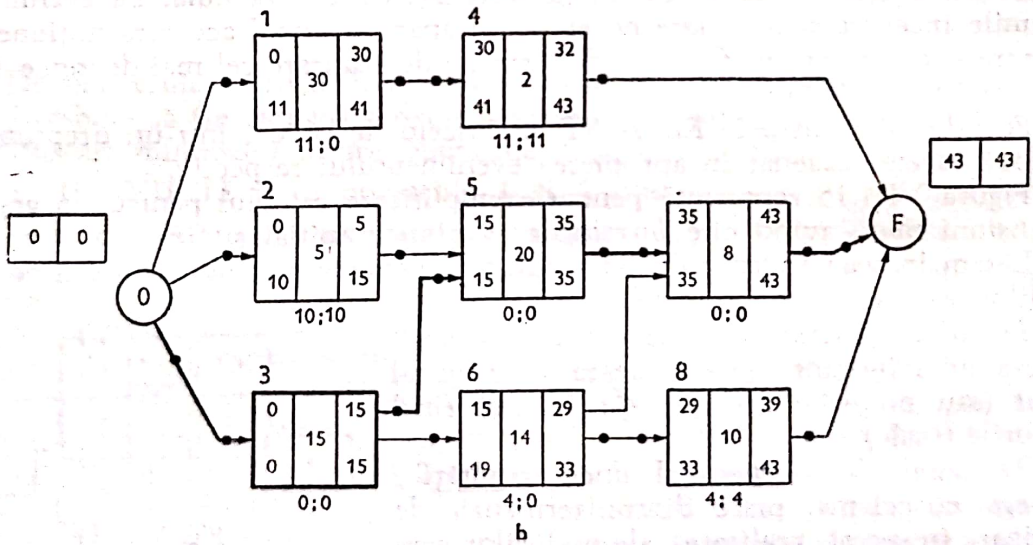
Convenim să marcăm arcul I_0J, printr-un semn distinctiv în apropierea vîrfului său.

De exemplu (v. fig. VIII.15, *a*)

$$ID(5)=\text{MAX}\{ID(2),\ ID(3)\}=\text{MAX}\{5,\ 15\}=15$$



a



b

Fig. VIII.15

Nodul minorant al nodului 5 este nodul 3. Arcul 3—5 a fost marcat în apropierea vîrfului său cu un mic cerc înnegrit.

Termenul de terminare cel mai devreme al unei activităţi este egal cu termenul de începere la care se adună durata:

$$TD(J)=ID(J)+D(J).$$

Evenimentele sînt tratate ca activităţi de durată 0, deci

$TD(J)=ID(J)=RD(J)$ (termenul de realizare cel mai devreme).

2) *Calculul termenelor, „cel mai tîrziu"* (programul majorant) se efectuează în sens invers faţă de primul.

Termenul de terminare cel mai tîrziu al unui nod K este egal cu cel mai mic dintre termenele de începere cel mai tîrziu ale nodurilor direct următoare:

$$TT(J)=MIN\ \{IT(K)\}$$

unde $\{IT(K)\}$ este mulţimea termenelor de începere cel mai tîrziu ale nodurilor direct următoare.

Fie K_0 nodul căruia îi corespunde cel mai mic termen de începere (realizare) cel mai tîrziu, dintre toate nodurile direct următoare nodului J. Nodul K_0 poartă denumirea de *nod majorant al nodului* J. Arcul JK_0 se marchează în apropierea extremităţii iniţiale (în apropierea nodului J).

De exemplu (v. fig. VIII.15, *b*):

$$TT(6)=\text{MIN}\ \{IT(7),\ IT(8)\}=\text{MIN}\ \{35,\ 33\}=33.$$

Nodul 8 este nod majorant pentru nodul 6. Arcul $6-8$ a fost marcat cu un cerc înegrit în apropierea nodului 6.

Termenul de începere cel mai tîrziu al unei activităţi se obţine scăzînd durata activităţii din termenul de terminare cel mai tîrziu:

$$IT(J)=TT(J)-D(J).$$

3) *Calculul marjelor* constă în determinarea următoarelor categorii de marje: totală, liberă, liberă inversă, independentă.

Definiţie. *Marja totală a unei activităţi J notată cu $MT(J)$ este durata cu care se poate amîna activitatea J faţă de termenul ei de începere cel mai devreme, fără a influenţa prin aceasta nici unul din termenele finale ale lucrării.*

Pentru a nu se depăşi niciunul din termenele finale ale unui graf, este necesar şi suficient ca nici o activitate să nu înceapă mai tîrziu decît termenul de începere cel mai tîrziu. Aceasta rezultă chiar din felul în care au fost calculate aceste termene.

Deci marja totală este egală cu diferenţa dintre termenul de începere cel mai tîrziu şi termenul de începere cel mai devreme.

$$MT(J)=IT(J)-ID(J)=TT(J)-TD(J).$$

De exemplu, pentru activitatea 6 din fig. VIII.15, *b*

$$MT(6)=IT(6)-ID(6)=19-15=4$$

sau

$$MT(6)=TT(6)-TD(6)=33-29=4.$$

Definiţie. *Marja liberă este durata cu care poate fi amînată o activitate faţă de termenul ei de începere cel mai devreme fără ca prin aceasta să se împiedice alte activităţi de a începe la termenul cel mai devreme.*

Scanned with OKEN Scanner

Dacă se analizează activitatea 6 (v. fig. VIII.15, *b*) a cărei marjă a fost calculată mai înainte, se constată că dacă această activitate ar fi amînată cu o singură zi față de programul minorant, ea s-ar termina la 30; una din activitățile următoare (activitatea 8) nu mai poate începe la termenul cel mai devreme care este 29. Nu același lucru se întîmplă cu activitatea 2, care poate fi amînată cu 10 zile față de termenul cel mai devreme, fără ca prin aceasta să fie necesară și amînarea altei activități. În situații similare cu 2 se află și nodurile 4 și 8.

Regulă. *Orice activitate care este minorantă pentru alte activități are marja liberă egală cu 0* (Operațiile care nu sînt minorante pentru nici o activitate se recunosc prin faptul că niciunul din arcele care pornesc din nodul respectiv nu are vîrful marcat). Pentru celelalte activități:

$$ML(J)=MIN\{ID(K)\}-TD(J)$$

unde K sînt activitățile direct următoare ale activității J.

Pentru a determina operația majorantă a activității J, se caută arcul care pornește din nodul I și este marcat la extremitatea inițială.

Definiție. *Marja liberă inversă (sau marja intermediară) a activității J, notată MLI(J), este durata cu care poate fi devansată începerea unei activități față de termenul de începere cel mai tîrziu, în cazul în care toate celelalte activități au fost fixate la termenele cel mai tîrziu admisibile.*

Nu au marjă liberă inversă diferită de 0 decît operațiile care nu sînt majorante pentru nici o altă operație. Pentru operațiile care au marjă liberă inversă aceasta este

$$(MLI(J)=IT(J)-MAX\{TT(I)\}$$

unde I sînt operațiile direct precedente ale activității J.

Definiție. *Marja independentă MI(J) este o parte din marja totală a operației, care nu poate fi influențată de termenele la care se planifică celelalte operații din graf.* Marja independentă rămîne la dispoziția operației chiar dacă toate operațiile precedente se planifică la termenele cel mai tîrziu admisibile și toate cele următoare se planifică la termenele cel mai devreme posibile.

În general, numărul operațiilor care dispun de marje independente este foarte mic. Acestea corespund acelor noduri care nu sînt nici minorante nici majorante pentru nici un alt nod din graf. Valoarea marjei este dată de expresia:

$$MI(J)=MIN\{ID(K)\}-MAX\{TT(I)\}-D(J)$$

unde I și K sînt operațiile direct precedente respectiv direct următoare pentru operația J.

În fig. VIII.16 se pot urmări calculele efectuate pentru un graf cu mai multe noduri inițiale și finale, folosind unitatea de timp S/Z.

În fig. VIII.17 sînt reprezentate comparativ cele patru tipuri de marje ale unei activități.

Analiza marjelor prezintă o mare importanță în planificare, deoarece ele acordă programului suplețea necesară pentru adaptarea lui la condițiile reale și

permit îmbunătățirea lui din punct de vedere al folosirii resurselor. Analiza făcută a scos însă în relief faptul că marjele operațiilor nu sînt întotdeauna independente între ele și că prin consumarea marjelor totale ale unor operații se diminuează sau se anulează și marjele totale ale altor operații. Din acest motiv

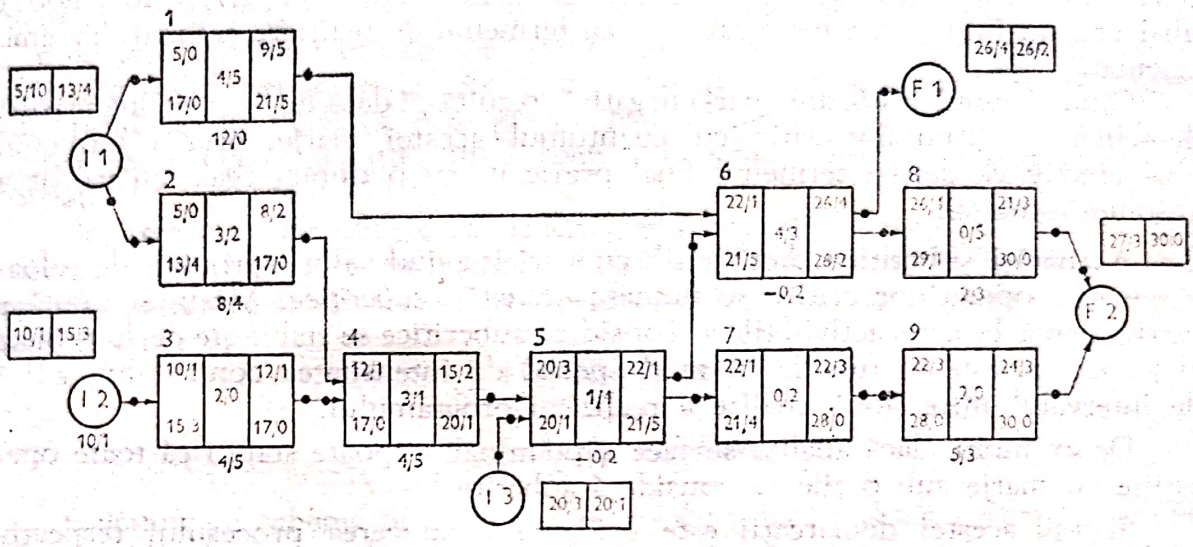


Fig. VIII.16

s-a pus în evidență marja liberă, pe care operația respectivă o poate consuma fără să consume din marjele operațiilor următoare.

Drumul critic. Drumul pe care se găsesc operațiile cu marjele cele mai mici din graf se numește *drum critic*. Drumul critic unește întotdeauna un nod inițial de unul final.

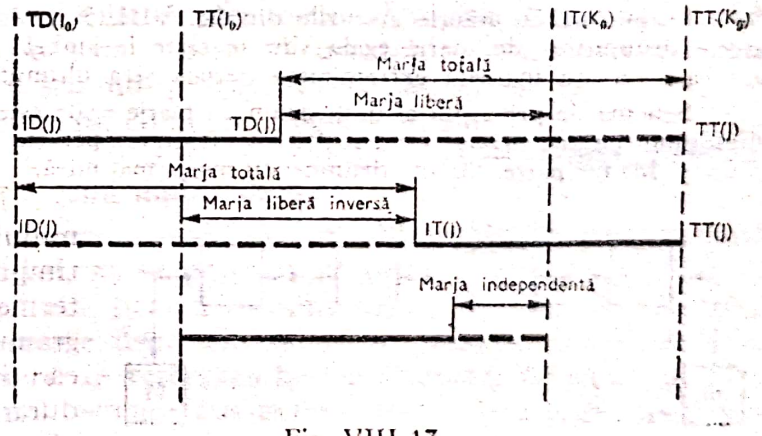


Fig. VIII.17

Într-un graf pot exista mai multe drumuri critice. Suma duratelor activităților de pe drumul critic poartă denumirea de *valoarea* sau *durata* drumului critic. *Durata drumului critic constituie durata minimă a realizării proiectului.* Rezultă de aici o concluzie de mare importanță în aplicarea în practică a metodei: *pentru a scurta durata realizării unui proiect trebuie scurtată durata drumului critic (respectiv a drumurilor critice).*

În afară de drumul critic general, corespunzător întregului graf, se definește și noțiunea de *drum critic local*, între două noduri *i* și *j* ca fiind drumul

cu durata cea mai mare dintre toate drumurile existente între aceste două noduri; în durata drumului critic local nu se includ și duratele celor două activități extreme.

Valoarea marjei de-a lungul drumului critic poate fi negativă, pozitivă sau nulă, după cum termenul de realizare cel mai tîrziu (obligat) pentru nodul final este mai mic, mai mare sau egal cu termenul de realizare cel mai devreme calculat.

Cînd drumul critic are marjă negativă, rezultă că dacă nu se vor lua măsuri de scurtare a drumului critic cu cuantumul acestei marje, atunci termenul final efectiv va depăși termenul final prevăzut, cu o durată egală cu valoarea absolută a marjei.

Activități subcritice. Activitățile cu marjele avînd valori apropiate de valoarea marjei operațiilor critice se numesc *activități subcritice*. Mărimea limită a marjei, pînă la care activitățile se consideră subcritice se stabilește de la proiect la proiect și este în funcție în mod special de intensitatea controlului, adică de intervalul între două analize a realizării programului.

De exemplu, dacă analiza se face săptămînal se poate stabili că toate operațiile cu marje sub 6 zile se consideră subcritice.

Scopul acestei demarcații este evident: conducerea procesului respectiv trebuie să-și concentreze atenția nu numai asupra operațiilor critice, ci și asupra celor care pot deveni critice de la o analiză la alta.

Drumuri cu marje egale. Activitățile subcritice și cele necritice avînd o anumită marjă formează drumuri în graf.

De exemplu, în graful din fig. VIII.15 operațiile avînd marja egală cu 4 se găsesc pe drumul (3)—6—8—(F), cele avînd marja 11 formează drumul (0)—1—4—(F). Operația 2 formează singură un drum; după cum se constată, numai ultima operație din fiecare din aceste drumuri dispune de marjă liberă.

Examinînd cu atenție grafurile din fig. VIII.15 și VIII.16, se poate remarca faptul că arcele drumurilor de marjă egală sînt marcate la ambele extremități, cu excepția primului arc care nu are marcată extremitatea inițială și a ultimului arc care nu are marcat vîrful.

Schema de principiu al unui drum cu marje egale este arătată în fig. VIII.18. Operația minorantă pentru prima activitate și cea majorantă pentru ultima activitate din drum (notate cu *m* și *M*) fac parte din alte drumuri cu marja mai mică.

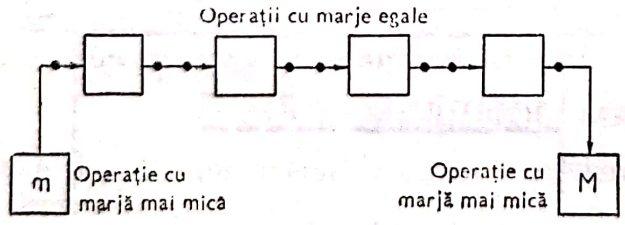


Fig. VIII. 18

Determinarea rapidă a drumului critic. În practică se întîmplă deseori ca după calculul termenelor cel mai devreme (programul minorant), să se constate că durata proiectului depășește durata planificată și că deci trebuie efectuată scurtarea ei. Această scurtare se face, după cum s-a mai arătat, acționînd asupra duratei drumului critic, ceea ce face necesară deci determinarea operațiilor critice. Pentru a se face economie de muncă, se recomandă determinarea directă a drumului critic fără a se mai calcula întregul program majorant.

Scanned with OKEN Scanner

Analiza se porneşte de la nodul final. În cazul în care graful are mai multe noduri finale, se porneşte de la nodul final pentru care termenul cel mai devreme *calculat* îl depăşeşte pe cel *obligat*.

Se caută dintre arcele care vin la acest nod pe cel marcat la vîrf; acest arc porneşte din ultima operaţie critică a grafului. În fig. VIII.15, *a* arcul incident la nodul *F* (singurul nod final al grafului) marcat la vîrf este arcul *7—F*; *7* este deci activitate critică. Se caută dintre arcele care au vîrful la această activitate arcul marcat la vîrf. Acest arc conduce la activitatea critică precedentă. În graful din fig. VIII.15, *a* se găseşte marcat arcul *5—7*, deci *5* este activitate critică. Se procedează astfel din aproape în aproape, pînă se ajunge la un nod iniţial.

În exemplul dat, dintre arcele cu vîrful la nodul *5*, arcul *3—5* are vîrful marcat. Deci drumul critic este *3—5—8—F*. Ca verificare se adună duratele operaţiilor critice astfel determinate, suma lor trebuind să fie egală cu termenul final calculat:

$$15+20+8=43.$$

b. CALCULUL ÎN TABEL

Calculul pe schemă prezintă dezavantajul că dacă trebuie refăcute calculele (fie în cadrul încercărilor iniţiale de îmbunătăţire, fie pentru reactualizarea periodică pe parcursul desfăşurării programului), fie graful trebuie reprodus printr-un mijloc oarecare, fie vechiul calcul trebuie şters. Reproducerea grafurilor este o operaţie costisitoare şi nu întotdeauna realizabilă în condiţii mulţumitoare. Ştergerea calculelor vechi, pe lîngă uzura pe care o produce desenului, ne lipseşte de posibilitatea comparării rezultatelor noi cu cele vechi. În sfîrşit, calculul grafurilor descompuse în multe subgrafuri (foarte frecvente în practică), este destul de dificil şi expus greşelilor.

Din aceste motive apare necesitatea efectuării calculelor în tabel. Tabelele au avantajul că se pot multiplica cu mai multă uşurinţă, calculele au un pronunţat caracter „mecanic". În schimb, prezintă două dezavantaje:

— nodurile trebuie numerotate conform „regulii de aur";

— transpunerea datelor de pe schemă în tabel este o operaţie suplimentară, destul de laborioasă şi care necesită multă atenţie.

Se recomandă ca la numerotarea nodurilor pentru grafurile care urmează să fie calculate manual în tabel, să se păstreze la prima numerotare numere de rezervă care să nu fie atribuite pentru început nici unui nod (de exemplu să nu se folosească la numerotare decît cifrele 0—7, păstrînd numerele care conţin cifrele 8 şi 9 ca numere de rezervă). În felul acesta, în cazul în care apar activităţi intermediare suplimentare, nu va fi necesar să se refacă întreaga numerotare.

În tabelul VIII.3 se poate vedea rubricaţia uzuală a unui tabel de calcul. Tabelul este completat cu datele iniţiale ale grafului din fig. VIII.15.

În coloana 1 se înscriu numerele nodurilor în ordine crescătoare. Coloanele 2, 3, 4, dau indicaţii suplimentare asupra operaţiei (sectorul, codul şi responsabilul) care nu intervin însă în procesul de calcul.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul VIII.3

Nodul	Sectorul	Codul	Responsabilul	Noduri direct precedente	Noduri direct următoare	Durata	Programul						Marje		Observații
							minorant		majorant		ales		totală	liberă	
							ID 1+8	*TD*	*IT* 11−7	*TT*	*IA*	*TA*			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0				—	*1,2,3*	0	—	0							
1				0	*4*	30									
2				0	*5*	5									
3				0	*5,6*	15									
4				*1*	*F*	2									
5				2,3	*7*	20									
6				3	*7,8*	14									
7				5,6	*F*	8									
8				6	*F*	10									
F				7,8		0									

În coloana 5 se înscriu la fiecare operație numerele de ordine ale nodurilor direct precedente, iar în coloana 6 numerele de ordine ale nodurilor direct următoare. În coloana 7 se înscrie durata operației.

În coloanele care urmează se vor înscrie rezultatele calculelor.

Etapa I. *Coloanele 8 și 9 (termenele cel mai devreme).* Se calculează rînd cu rînd, de la prima spre ultima operație.

Pentru primul nod (eveniment inițial) termenul *TD* (coloana 9) reprezintă momentul începerii programului; în exemplul de față acest termen este 0. Pentru oricare din rîndurile următoare, de exemplu pentru nodul *j* se procedează astfel:

1) Se citește pe rîndul *j* primul nod din coloana 5 pe care îl vom numi *i*.

2) Se caută, pentru verificare, dacă pe rîndul *i* în coloana 6 se găsește nodul *j*. Dacă nu se găsește înseamnă că s-a produs o eroare la transcrierea grafului și această eroare trebuie detectată și eliminată.

3) Se citește numărul înscris pe rîndul *i*, coloana 9 și se notează pe o hîrtie *H*, împreună cu numărul *i* al nodului respectiv.

4) Dacă pe rîndul *j* coloana 5 se mai găsește și alt nod după nodul *i* analizat pînă în prezent, îl vom considera pe acesta ca nou nod *i*. Se repetă operațiile 2, 3 și 4 pînă la epuizarea tuturor nodurilor din coloana 5.

5) Se compară numerele înregistrate pe hîrtia *H* și se alege cel mai mare dintre ele, care se înscrie pe rîndul *j* la coloana 8, iar numărul nodului de la care a provenit acest număr se subliniază (se marchează) pe rîndul *j* în coloana 5.

6) Pe rîndul *j* se efectuează adunarea numerelor din coloanele 7 și 8 iar rezultatul se înscrie în coloana 9.

Apoi se trece la rîndul următor.

Aplicînd aceste reguli asupra datelor din tabelul VIII.3 se obțin rezultatele înregistrate în tabelul VIII.4.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul VIII.4

Nodul	Sectorul	Codul	Responsabilul	Noduri direct precedente	Noduri direct următoare	Durata	Programul						Marje		Observații
							minorant		majorant		ales		totală	liberă	
							ID	*TD* 1+8	*IT* 11−7	*TT*	*IA*	*TA*			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0				—	*1,2,3*	0		0							
1				*0*	*4*	30	0	30							
2				*0*	*5*	5	0	5							
3				*0*	*5,6*	15	0	15							
4				*1*	*F*	2	30	32							
5				*2,3*	*7*	20	15	35							
6				*3*	*7,8*	14	15	29							
7				*5,6*	*F*	8	35	43							
8				*6*	*F*	10	29	39							
F				*4,7,8*	—	0	43	43							

Exemple:

rîndul 1:

— în coloana 5 se citește — unicul nod precedent *0*;

— se verifică dacă nodul *1* se găsește în coloana 6 rîndul *0*;

— se caută în coloana 9 rîndul *0* și se citește *0*;

— acest număr se înscrie în coloana 8 rîndul *1*, (deoarece nodul *0* este singur în coloana 5);

— se adună pe rîndul *1* coloana 7 cu coloana 8:

$$30+0=30$$

ar rezultatul se înscrie în coloana 9;

. . . . . .

rîndul 5:

— în coloana 5 se citește nodul *2*;

— se verifică dacă pe rîndul *2* coloana 6 se găsește înscris nodul *5*;

— se citește numărul din rîndul *2* coloana 9, care este 5, acest număr se notează pe o hîrtie ajutătoare sub forma:

nod 2 : 5;

— se citește nodul următor de pe rîndul *5*, coloana 5 : *3*;

— se verifică dacă pe rîndul *3* coloana 6 se găsește înscris și nodul *5*;

— se citește numărul din rîndul *3*, coloana 9, care este 15; acest număr se notează pe hîrtia ajutătoare:

nod 3 : 15;

— întrucît în coloana 5 rîndul *5* nu se mai găsește nici un nod, se analizează conținutul hîrtiei ajutătoare:

nod 2 : 5

nod 3 : 15;

Scanned with OKEN Scanner

— se alege numărul cel mai mare: 15 care se înscrie pe rîndul 5 în coloana 8, iar în coloana 5 se subliniază nodul 3, de la care a provenit valoarea 15.

— se face adunarea coloanelor 7 și 8

$$20+15=35$$

iar rezultatul se înscrie în coloana 9.

Etapa a II-a. *Coloanele 10 și 11 (termenele cel mai tîrziu).* Se calculează rînd cu rînd pornind de la ultimul nod spre primul. În coloana 10 la nodurile finale se înscriu termenele obligate, iar dacă acestea nu există, se înscrie termenul final calculat în etapa precedentă (coloana 9).

Pentru oricare din rîndurile precedente (de exemplu pentru nodul *j*) se procedează astfel:

1) Se citește pe rîndul *j* primul nod înscris în coloana 6, care se desemnează în continuare ca nodul *K*.

2) Se citește numărul înscris în coloana 10 pe rîndul *k* și se notează pe hîrtia *H* împreună cu numărul *K*.

3) Dacă pe rîndul *j* coloana 6 se mai găsește și alt nod, după nodul *k* analizat pînă în prezent, se va considera acesta ca nou nod *k*. Se repetă operațiile 2 și 3 pînă se epuizează toate nodurile din coloana 6 a rîndului *j*.

4) Se compară numerele culese din coloana 10 și înregistrate pe hîrtia *H* și se alege cel mai mic dintre ele, care se înscrie pe rîndul *j* la coloana 11, iar numărul nodului de la care a provenit acest număr se subliniază (se marchează) pe rîndul *j* în coloana 6.

5) Pe rîndul *j* se efectuează următoarea scădere:

coloana 11 — coloana 7, rezultatul în coloana 10.

Apoi se trece la rîndul de deasupra.

Aplicînd aceste reguli asupra datelor inițiale din tabelul VIII.3, se obțin rezultatele din tabelul VIII.5.

Tabelul VIII.5

Nodul	Sectorul	Codul	Responsabilul	Noduri direct precedente	Noduri direct următoare	Durata	Programul						Marje		Observații
							minorant		majorant		ales		totală	liberă	
							ID	*TD* 1+8	*IT* 11−7	*TT*	*IA*	*TA*			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0					*1,2,3*	*0*				0					
1				*0*	*4*	30			11	41					
2				*0*	*5*	5			10	15					
3				*0*	*5,6*	15			0	15					
4				*1*	*F*	2			41	43					
5				*2,3*	*7*	20			15	35					
6				*3*	*7,8*	14			19	33					
7				*5,6*	*F*	8			35	43					
8				*6*	*F*	10			33	43					
F				*4,7,8*	—	0			43	43					

Pentru nodul final *F*, nefiind prevăzut termen obligat s-a înscris în coloanele 10 și 11 termenul 43, calculat anterior (v. tabelul VIII.4 coloana 8.

Exemple de calcul pentru celelalte rînduri:

rîndul 8

— în coloana 6 se citește nodul: *F* (singurul nod);
— se caută pe rîndul *F* coloana 10 și se citește 43;
— nodul *F* fiind singurul nod următor, 43 se înscrie direct în coloana 11 rîndul 8;
— din coloana 11 se scade coloana 7

$$43-10=33$$

iar rezultatul se înscrie în coloana 10;

.....

rîndul 3

— în coloana 6 se citește nodul *5*;
— se caută pe rîndul *5* coloana 10, se citește: 15 și se notează pe hîrtia ajutătoare:

nod *5* : 15;

— în coloana 6 se citește nodul următor: *6*;
— se caută pe rîndul *6* coloana 10, se citește: 19 și se notează pe hîrtia ajutătoare

nod *6* : 19;

— se analizează conținutul hîrtiei ajutătoare care este:

nod *5* : 15
nod *6* : 19;

— se alege cel mai mic dintre numere: 15, care corespunde nodului *5*.
— pe rîndul *3* coloana 11 se scrie 15, iar în coloana 6 se subliniază *5*.
— se efectuează scăderea coloana 11 — coloana 7:

$$15-15=0$$

iar rezultatul se înscrie în coloana 10.

Etapa a III-a. *Marja totală*. Se calculează cu formula:

coloana 14 = coloana 11 — coloana 9 = coloana 10 — coloana 8.

Rezultatele sînt prezentate în tabelul VIII.6.

Etapa a IV-a. *Marja liberă*. Pentru operația *j* se procedează astfel:
1) Se citesc operațiile direct următoare din coloana 6 rîndul *j*.
2) Se caută în coloana 5 la aceste operații dacă numărul nodului *j* este subliniat.
3) Dacă numărul nodului *j* este subliniat cel puțin la o operație direct următoare, atunci marja liberă este 0.

Scanned with OKEN Scanner

4) Dacă numărul nodului j nu este subliniat la nici o operație următoare (rezultă că operația j nu este minorantă pentru nici o altă operație), se caută pe rîndul j coloana 6 care sînt nodurile direct următoare k.

5) Se citesc în coloana 8 termenele corespunzătoare nodurilor k și se alege cel mai mare; din acesta se scade termenul din coloana 9 rîndul j; rezultatul se înscrie în coloana 15 pe rîndul j.

Operațiile critice au marja liberă egală cu 0.

Exemplu (v. tabelul VIII.6).

rîndul 1:

— în coloana 6 se găsește nodul 4;
— pe rîndul 4 în coloana 5 se constată că nodul 1 este subliniat;
— deci marja liberă este nulă;

rîndul 2:

— în coloana 6 se găsește nodul 5;
— pe rîndul 5, în coloana 5 se constată că nodul 2 nu este subliniat;
— marja liberă: 15—5=10.

Tabelul VIII.6

Nodul	Sectorul	Codul	Responsabilul	Noduri direct precedente	Noduri direct următoare	Durata	Programul						Marje		Observații
							minorant		majorant		ales		totală	liberă	
							ID	TD 1+8	IT 11—7	TT	IA	TA			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0				—	1,2,3			0		0			0		
1				0	4			30		41			11	0	
2				0	5			5		15			10	10	
3				0	5,6			15		15			0	0	CR
4				1	F			32		43			11	11	
5				2,3	7			35		35			0	0	CR
6				3	7,8			29		33			4	0	
7				5,6	F			43		43			0	0	CR
8				6	F			39		43			4	4	
F				4,7,8				43		43			0	0	

Observație. Coordonatorul programului nu poate lăsa la dispoziția fiecărui responsabil de activitate libertatea de a dispune singur de marja activității respective, deoarece, după cum s-a văzut, consumarea marjei unei activități influențează asupra termenelor și marjelor altor activități. Ar exista, de exemplu, pericolul ca o anumită activitate să fie planificată de responsabilul ei la termenul *cel mai tîrziu*, iar o activitate direct următoare a acesteia să fie planificată la termenul *cel mai devreme*; ca urmare, fie că nu se va respecta procesul tehnologic și se vor interverti operațiile, fie că cel de al doilea executant va fi nevoit să amîne începerea activității față de termenul pe care și l-a propus. În ambele cazuri nu poate fi vorba de o coordonare eficace.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru acest motiv au fost prevăzute în tabel coloanele 12 şi 13 în care se înscriu termene ferme, planificate. Aceste coloane se calculează asemănător cu coloanele 8 şi 9, cu deosebirea că după determinarea termenului de începere cel mai devreme (prin alegerea celui mai mare dintre termenele din coloana 13 ale operaţiilor directe precedente) se poate majora la nevoie acest termen şi apoi se înscrie rezultatul în coloana 12. Dacă nu este permisă depăşirea termenului final, este lesne de înţeles că termenele din coloanele 12 şi 13 nu trebuie să fie mai mari decît cele din coloana 10 respectiv 11 de pe acelaşi rînd.

Tabelul VIII.7 conţine calculul complet al exemplului examinat.

Tabelul VIII.7

Nodul	Sectorul	Codul	Responsabilul	Noduri direct precedente	Noduri direct următoare	Durata	Programul						Marje		Observaţii
							minorant		majorant		ales				
							ID	*TD* 1+8	*IT* 11+7	*TT*	*IA*	*TA*	totală	liberă	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0				—	*1,2,3*	0	0	0	0	0	0	0	0		
1				*0*	*4*	30	0	30	11	41	5	35	11	0	
2				*0*	*5*	5	0	5	10	15	3	8	10	10	
3				*0*	*5,6*	15	0	15	0	15	0	15	0	0	CR
4				*1*	*F*	2	30	32	41	43	38	40	11	11	
5				*2,3*	*7*	20	15	35	15	35	15	35	0	0	CR
6				*3*	*7,8*	14	15	29	19	33	18	32	4	0	
7				*5,6*	*F*	8	35	43	35	43	35	43	0	0	CR
8				*6*	*F*	10	29	39	33	43	32	42	4	4	
9				*4,7,8*	—	0	43	43	43	43	43	43	0	0	

IX

ÎMBUNĂTĂŢIREA PROGRAMULUI ÎN FUNCŢIE DE DURATĂ ŞI COST

1. SCURTAREA DURATEI TOTALE FĂRĂ MODIFICAREA DURATELOR ACTIVITĂŢILOR

În acţiunea de îmbunătăţire a programului, o primă fază constă în încercarea de *a se scurta durata totală fără a se face modificări în duratele activităţilor*, deci fără a se modifica intensitatea resurselor sau procesul tehnologic al operaţiilor şi ca urmare fără a se face modificări sensibile ale costurilor.

După cum a rezultat din capitolele precedente, *scurtarea duratei totale a unui proiect se poate obține numai prin scurtarea drumului critic.*

Ținînd seama de condiția adoptată pentru moment, de a nu scurta durata nici unei activități, există următoarele căi pentru scurtarea drumului critic:

— excluderea uneia sau mai multor activități de pe drumul critic, prin punerea în paralel a unor activități critice (eliminarea unor condiționări);

— excluderea unor părți de activități de pe drumul critic, prin suprapunerea parțială a unor activități critice;

— intervertirea a două activități critice (inversarea unei condiționări disjunctive).

a. EXCLUDEREA UNOR ACTIVITĂȚI DE PE DRUMUL CRITIC

Analizînd cu atenție condiționările de pe drumul critic se pot găsi condiționări la care se poate renunța cu ușurință fie pentru că ele au fost introduse din eroare și nu sînt efectiv necesare, fie pentru că, deși utile, eliminarea lor nu provoacă perturbații mari.

Dacă, de exemplu, la elaborarea grafului primar s-a condiționat montarea căii de macara și apoi a macaralei de terminarea activității „executarea umpluturilor" în jurul construcției, și dacă aceste activități sînt critice, se va reanaliza dacă nu este posibilă îndepărtarea căii de macara de perimetrul clădirii, fără a-i limita posibilitățile de manevră, și dacă prin aceasta nu se creează posibilitatea amplasării căii de rulare înainte și independent de efectuarea umpluturilor.

Este important de remarcat că la eliminarea condiționării între două activități, amîndouă activitățile trebuie serios reanalizate în ceea ce privește apariția unor noi activități direct următoare și direct precedente.

Pentru exemplificare se poate urmări fig. IX.1; graful din fig. IX.1, *a* a fost modificat în vederea scurtării duratei, prin eliminarea condiționării *3—4*. Reanalizîndu-se legăturile activității *10* s-a constatat că ea condiționează activitatea *9*. De asemenea, constatîndu-se că activitatea *4* este condiționată și de activitatea *2* s-a introdus arcul *2—4* (v. graful din fig. IX.1, *b*).

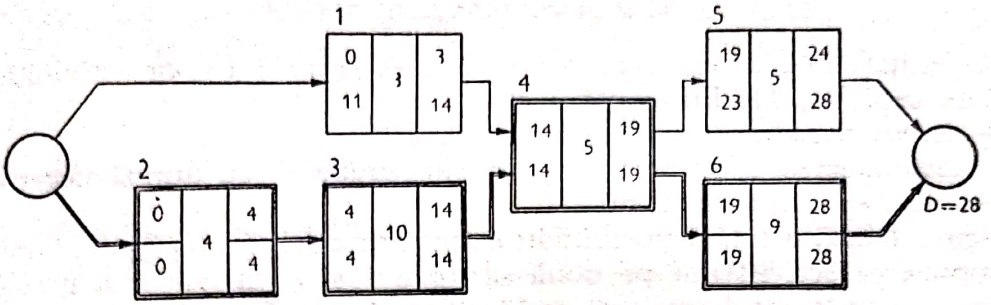
Eliminarea arcului *3—4* are ca efect în fig. IX.1, *b* excluderea activității *4* de pe drumul critic și scurtarea întregului drum cu durata acestei activități. Noua condiționare introdusă (*3—6*) este critică.

În fig. IX.2, *a* este reprezentat același graf, însă într-o altă ipoteză în ceea ce privește durata activității *1*.

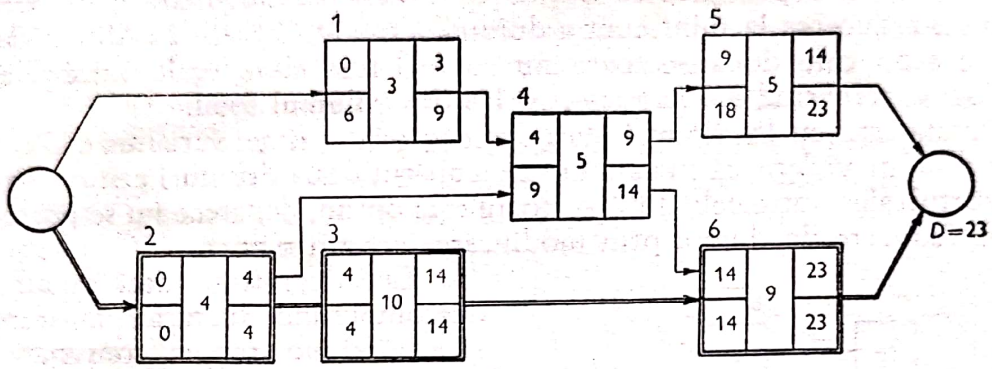
Se constată că în acest caz aceeași modificare a grafului provoacă mutarea drumului critic, respectiv înlocuirea unora din activitățile critice (*2* și *3*) cu o altă activitate care nu fusese critică (*1*) (v. fig. IX.2, *b*).

Efectul eliminării unei condiționări asupra scurtării duratei, analizat mai înainte, atrage în același timp atenția asupra efectului invers pe care îl poate avea introducerea în graf din greșeală a unei condiționări nenecesare: durata totală poate crește în cazuri extreme pînă la dublul duratei reale.

Scanned with OKEN Scanner

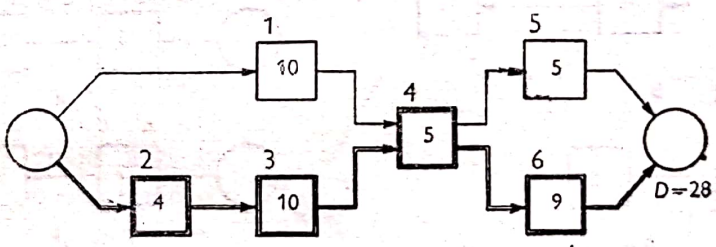


a

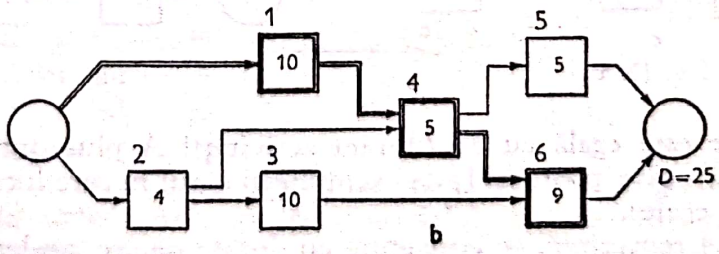


b

Fig. IX. 1



a



b

Fig. IX. 2

b. SUPRAPUNEREA ACTIVITĂȚILOR

Posibilitățile de a reprezenta suprapunerea parțială a unor activități au fost tratate la cap. VI, 11. Ele constau din:

— descompunerea activităților;
— introducerea unor „activități de suprapunere" cu durată negativă;
— folosirea duratelor pe arc.

Figura IX.3 ilustrează posibilitatea scurtării duratei unui graf simplu, prin descompunerea activităților pe două sectoare *1* și *2*. În varianta *b* cele două sectoare sînt egale, iar durata este cu 12 zile mai mică față de varianta *a*.

În varianta *c* pentru a se obține o scădere suplimentară a duratei totale s-a căutat reducerea la minimum a duratei activității critice B_2 (din varianta *b*); în acest scop cele două sectoare nu au mai fost alese egale între ele, volumele lor reprezentînd 3/4 și respectiv 1/4 din volumul total.

Durata este cu 18 zile mai mică decît în cazul primei variante.

Avînd în vedere că în varianta *c* au apărut două drumuri critice, se deduce că raportul ales între cele două sectoare este optim, deoarece nu se poate obține o nouă reducere de durată prin modificarea acestui raport.

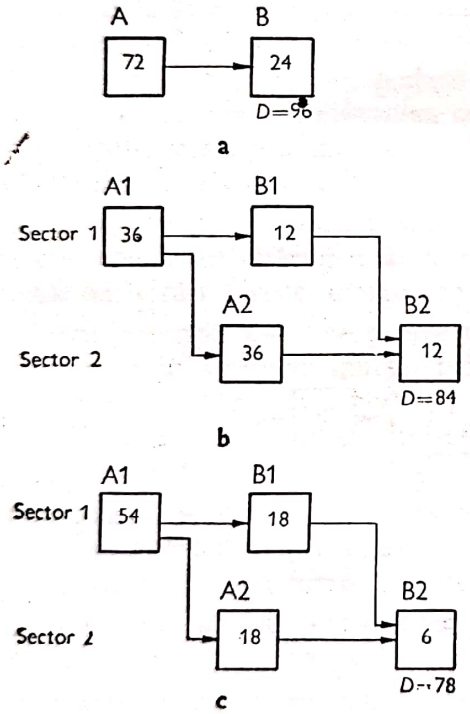


Fig. IX.3

Este de reținut deci că nu numai descompunînd lucrarea în sectoare ci și alegînd un raport convenabil între aceste sectoare, se pot obține scurtări sensibile de durate.

Descompunerea poate merge mai departe, pe trei sau mai multe sectoare, în funcție de necesități, dar fără un cîștig substanțial, deoarece limita inferioară

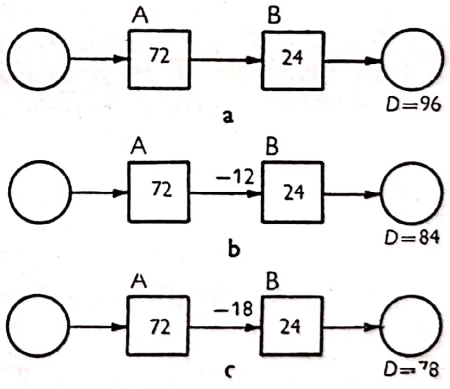


Fig. IX.4

a duratei totale este egală cu 73 (durata activității *A* plus durata activității *B* pe ultimul sector care poate fi 1, de exemplu în cazul în care lucrarea se împarte în 12 sectoare egale).

Figura IX.4 reprezintă, în convenția cu durate pe arc, aceleași variante analizate în fig. IX.3. Se remarcă simplitatea reprezentării.

Scanned with OKEN Scanner

Durata de suprapunere afectată arcului poate crește peste 18, ajungînd pînă la 23, considerînd că pe ultimul sector durata de realizare a activității *B* este o zi.

c. INTERVERTIREA A DOUĂ ACTIVITĂȚI CRITICE

În cap. VI s-a arătat că între anumite activități pot apărea relații disjunctive, de forma: „activitățile *A* și *B* nu se pot desfășura simultan".

O astfel de relație poate fi reprezentată în graf fie printr-un arc $A \rightarrow B$ fie printr-un arc $B \rightarrow A$. Este cazul activităților care trebuie realizate de același om, de aceeași echipă, cu același utilaj, sau într-un loc îngust, care nu permite executarea simultană a două activități. De exemplu: executarea a două conducte subterane pe aceeași stradă, executarea a două săpături cu același excavator etc.

Considerînd că în graful din fig. IX.5, *a*, arcul *5—4* reprezintă o astfel de relație disjunctivă, prin inversarea sensului acestui arc activitățile *3* și *5* au fost scoase de pe drumul critic, iar durata totală a scăzut de la 92 la 72 (fig. IX.5, *b*). O dată cu aceste modificări trebuie reanalizate și celelalte condiționări legate de aceste activități. În exemplul care se analizează s-a considerat că activitatea *2* condiționează întotdeauna pe prima din cele două activități disjunctive, din care cauză arcul *2—5* a fost înlocuit cu arcul *2—4* (dacă activitățile *4* și *5* reprezintă săpături, activitatea *2* poate reprezenta transportul excavatorului la șantier). Similar s-a considerat că activitatea *7* este condiționată de ultima dintre cele două activități (transportul excavatorului de la șantier la bază) din care cauză arcul *4—7* a fost înlocuit cu arcul *5—7*.

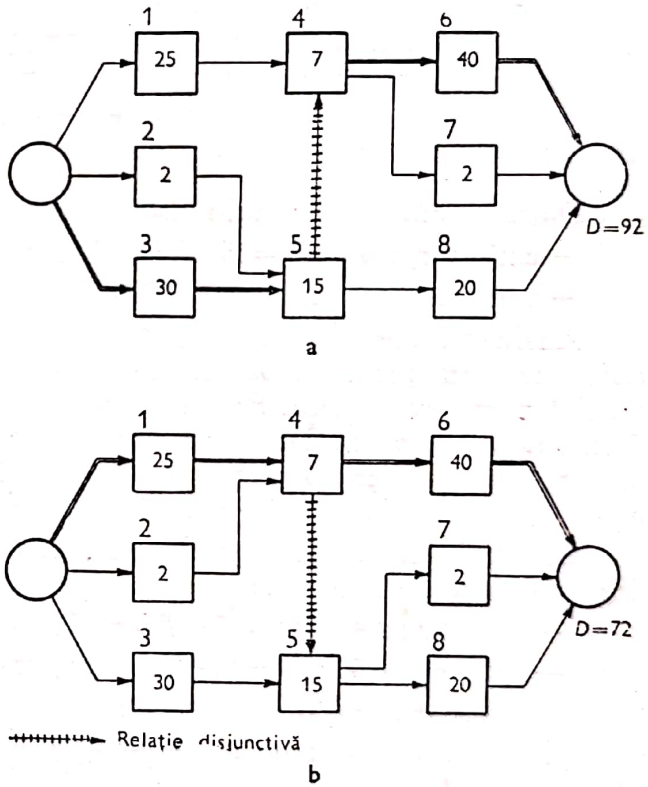


Fig. IX.5

Pentru a elimina de la bun început posibilitatea ca relațiile disjunctive, înlocuite printr-o condiționare a cărui sens se alege la întîmplare, să producă întîrzieri în program, cum a fost cazul în exemplul precedent, este recomandabil ca, de cîte ori este posibil, relația disjunctivă să fie înlocuită printr-o condiționare numai după efectuarea unui prim calcul al termenelor.

Procedeul poate fi urmărit pe exemplul din fig. IX.6. După cum se vede în acest graf între activitățile 4 și 5 nu a fost prevăzută nici o condiționare ci numai o linie punctată care indică faptul că cele două activități nu se pot executa simultan.

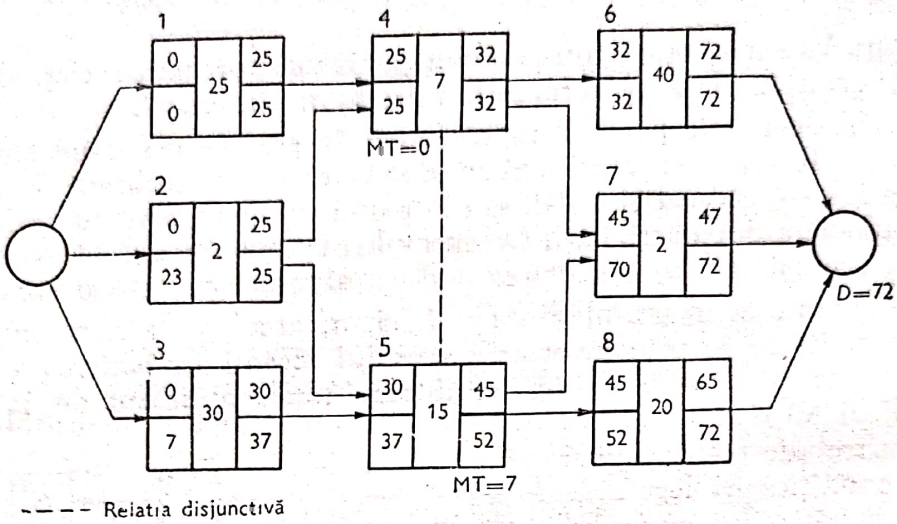


Fig. IX. 6

După efectuarea primului calcul interesează următoarele informații:

— activitatea 4 $ID=25$; $TD=32$; marja totală=0;

— activitatea 5 $ID=30$; $TD=45$; marja totală=7.

Analizînd aceste date se trage cu ușurință concluzia că activitatea 4 trebuie executată prima deoarece pe de-o parte poate începe mai devreme, pe de altă parte este critică. Prin executarea activității 4 în primul rînd, activitatea 5 trebuie amînată cu 2 zile, ceea ce nu prezintă nici un inconvenient, deoarece această activitate are o marjă de 7 zile. În consecință, linia punctată 4—5 se va înlocui cu un arc 4—5, obținîndu-se astfel graful din fig. IX.5, *b*.

Să analizăm ce decizie trebuia adoptată în cazul în care rezultatele calculelor ar fi fost următoarele:

— activitatea 4 $ID=25$; $TD=35$; marja totală = 19;

— activitatea 5 $ID=30$; $TD=45$; marja totală = 1.

În acest caz raționăm astfel:

Dacă activitatea 4 va fi programată prima, activitatea 5 nu poate începe decît la 35, deci cu o întîrziere de 5 zile. Marja acestei activități fiind 1, o întîrziere de patru zile se va repercuta și asupra termenului final.

Dacă activitatea 5 va fi programată prima, activitatea 4 nu va putea începe decît la 45, deci cu o întîrziere de 20 zile. Această decalare nu va produce amînarea termenului final decît cu o zi, deoarece activitatea dispune de o marjă de 19 zile.

Scanned with OKEN Scanner

Așa dar, în această ipoteză vom introduce arcul *5—4* care nu va provoca decît o întîrziere de o zi, față de întîrzierea de 5 zile care ar fi provocată de introducerea arcului *4—5*.

2. SCURTAREA DURATEI TOTALE CU MODIFICAREA DURATELOR ACTIVITĂȚILOR

a. OPTIMIZAREA DUPĂ CRITERIUL COST – DURATĂ

După ce au fost epuizate posibilitățile de scurtare a duratei totale prin procedeele expuse în paragraful precedent, este necesar să se treacă la un nou procedeu: scurtarea duratelor unora din activitățile critice.

După cum s-a mai arătat, durata activității este în funcție de intensitatea resurselor folosite și de soluția tehnologică adoptată. Diferitelor intensități sau soluții le corespund costuri și durate diferite. Presupunînd că pentru calculele inițiale ale programului au fost luate în considerare duratele normale, corespunzătoare costurilor minime, este evident că orice încercare de scurtare a duratei unei activități față de valoarea inițială atrage după sine o creștere a costurilor.

S-a arătat că pentru fiecare activitate se poate stabili o relație durată-cost.

Dacă s-ar adopta la întîmplare pentru fiecare activitate o anumită tehnologie posibilă și o anumită concentrare de resurse cărora le-ar corespunde o durată anumită și un anumit cost, și s-ar calcula programul P_i, s-ar obține o anumită durată totală D_i și un cost total C_i; s-ar putea reprezenta apoi grafic această variantă de program printr-un punct avînd coordonatele D_i și C_i (fig. IX.7)

Variind la întîmplare duratele în limitele admisibile pentru fiecare activitate, se poate obține o infinitate de programe, care pot fi reprezentate prin puncte în sistemul de coordonate durată-cost. Procedînd astfel, se va găsi pentru fiecare durată totală posibilă D_i, un număr oarecare de programe cu costuri diferite. Dintre toate acestea nu interesează decît acea variantă de program care are costul cel mai mic (C_{ik}). Ansamblul punctelor reprezentînd programe avînd costuri minime pentru fiecare durată totală posibilă, formează o curbă K (curba durată-cost minim) care mărginește inferior domeniul în care se găsesc toate punctele reprezentative P_i (v. fig. IX.7).

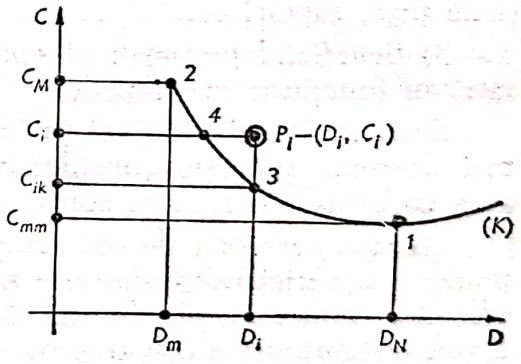


Fig. IX. 7

Interesul este ca programul care se adoptă să aibă punctul reprezentativ pe această curbă. Căutarea unui program a cărui punct reprezentativ să se găsească pe curba durată-cost minim constituie *optimizarea programului*.

Există patru criterii principale de optimizare:

1) Programul să se realizeze la un cost total minim minimorum. Durata corespunzătoare se numește durata normală (*DN*). Acest program corespunde punctului reprezentativ *1* din fig. IX.7.

Scanned with OKEN Scanner

2) Programul să se realizeze într-o durată minimă (punctul reprezentativ 2).

3) Programul să se realizeze într-o durată dată cuprinsă între durata normală și cea minimă.

De exemplu, dacă durata este D_t, trebuie găsit programul care corespunde punctului reprezentativ 3.

4) Programul să corespundă unui cost dat C_t. În acest caz programul este acela care corespunde punctului reprezentativ 4.

b. COSTURILE CARE INTERVIN ÎN CALCULE

1 *Costurile directe* ale fiecărei activități.

2) *Costurile indirecte* variază cu durata totală a lucrării. În această categorie intră cheltuielile de regie ale întreprinderii și șantierului, care au tendința de a scădea o dată cu scăderea duratei totale.

Tot de natura acestor cheltuieli trebuie considerate și cheltuielile de organizare a șantierului, deși din punct de vedere financiar și contabil ele sînt tratate în mod distinct. Cheltuielile de organizare au în general tendința de a crește o dată cu scăderea duratei (număr mai mare de dormitoare, instalații de șantier mai puternice etc.). În funcție de raportul dintre cheltuielile de regie și cele de organizare în fiecare caz concret, totalul cheltuielilor indirecte poate scădea sau crește o dată cu scăderea duratei.

Este de remarcat că în numeroase cazuri, o parte din cheltuielile indirecte pot fi repartizate pe părți ale investiției (de exemplu pe obiecte sau grupe de obiecte). Așa de exemplu, în cazul unei hidrocentrale, cheltuielile de organizare și o parte din cheltuielile de regie pot fi defalcate pe: baraj, galerii de aducțiune și de fugă, captări etc.

3) *Beneficiul prezumat al viitoarei investiții* este mai mare dacă investiția intră în funcțiune mai repede.

Dacă produsul viitoarei investiții este destinat exportului, livrarea lui cît mai devreme sporește considerabil competitivitatea produsului, ceea ce poate avea ca urmare o sporire considerabilă a beneficiului.

Această categorie de costuri nu aparține în general întreprinderii constructoare, ci beneficiarului, dar este normal ca într-o economie socialistă problema efectelor economice ale duratei să fie privită în ansamblul ei. Pentru a interesa direct întreprinderea constructoare în vederea grăbirii dării în folosință, se poate organiza un sistem de bonificații, prin care beneficiarul să cedeze cel puțin o parte din benficiile pe care le realizează prin scurtarea duratei de execuție.

4) *Pierderi prin întîrzierea dării în funcțiune*; întîrzierea dării în funcțiune nu provoacă numai o amînare a realizării de beneficii de către investiția întîrziată, ci poate produce dereglări, pierderi în întregul lanț de industrii care urmează să producă materia primă necesară, a celor care urmau să coopereze cu noua unitate și a celor cărora noua unitate urma să le livreze produsele sale. Efectele economice ale unei astfel de întîrzieri pot lua proporții nebănuite.

Scanned with OKEN Scanner

În fig. IX.8 sînt prezentate curbe de variație ipotetice pentru aceste categorii de cheltuieli.

După cum se poate constata, costul total minim minimorum corespunde unei durate mai mici decît durata corespunzătoare costului direct minim minimorum.

c. PROCEDEUL DE CALCUL

Calculele de optimizare după criteriul cost-durată sînt deosebit de laborioase și din acest motiv sînt extrem de rare cazurile în care ele pot fi făcute fără ajutorul calculatoarelor electronice.

În cele ce urmează se va urmări formarea unei idei de ansamblu asupra procedeelor care se folosesc în calcul, cu ajutorul unui exemplu simplificat la maximum.

Se cere să se întocmească un program pentru executarea unui proiect al cărui graf este prezentat în fig. IX.9.

Datele cunoscute asupra activităților sînt date în tabelul IX.1 (coloanele 1—5):

Suma tuturor celorlalte costuri se consideră că este de 14 unități valorice în unitatea de timp, pe întreaga durată a execuției.

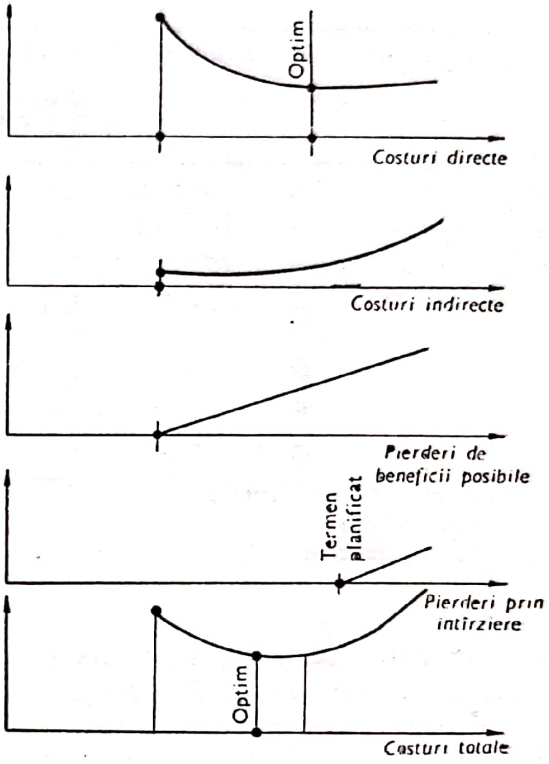


Fig. IX. 8

Se consideră că relația durată-cost este liniară. Aceasta permite să se calculeze coeficientul de cost sau costul scurtării cu o unitate de timp pentru fiecare activitate (coloana 7 în tabelul IX.1) și care se obține prin împărțirea diferenței de costuri la diferența între durate; de exemplu, pentru activitatea *A*:

$$\frac{328-300}{20-16} = \frac{28}{4} = 7 \text{ unități valorice/unitatea de timp.}$$

Tabelul IX.1

Activitatea	Durata (în unități de timp)		Costul (în unități valorice)		Diferența	Coeficientul de cost, K
	normală	minimă	minim	urgență		
A	20	16	300	328	28	7
B	10	18	516	528	12	6
C	15	10	829	869	40	8
D	16	8	1 075	1 115	40	5
E	2	2	400	400	—	—
F	30	26	795	835	40	10
G	8	3	2 520	2 605	85	17

Scanned with OKEN Scanner

Calculele se efectuează în mai mulți pași, care vor permite apropierea treptată de soluția căutată.

Datele caracteristice ale programului obținut după fiecare pas sînt completate în tabelul IX.2.

Tabelul IX.2

Activitatea	Durate				
	Pasul *I*	Pasul *II*	Pasul *III*	Pasul *IV*	Pasul *V*
A	20	20	20	20	17
B	10	10	10	[8]	[8]
C	15	15	15	15	15
D	16	13	13	11	[8]
E	[2]	[2]	[2]	[2]	[2]
F	30	30	[26]	[26]	[26]
G	8	8	8	8	8
Scurtarea duratei totale	—	3	4	2	3
Durata totală	71	68	64	62	59
Variația de cost	—	—27	—16	—6	—6
Costul	6435	6408	6392	6386	6380

În cazul în care, în urma reducerilor succesive, durata activității devine egală cu durata minimă, aceasta este marcată prin încadrare.

Pasul I. Se calculează programul luînd în considerare duratele normale. Rezultatele calculului sînt prezentate în fig. IX.9.

Pasul II. Prima scurtare a duratei. Căutăm operația critică cu cel mai mic coeficient de cost. Aceasta este activitatea *D* al cărei coeficient este 5. Putem

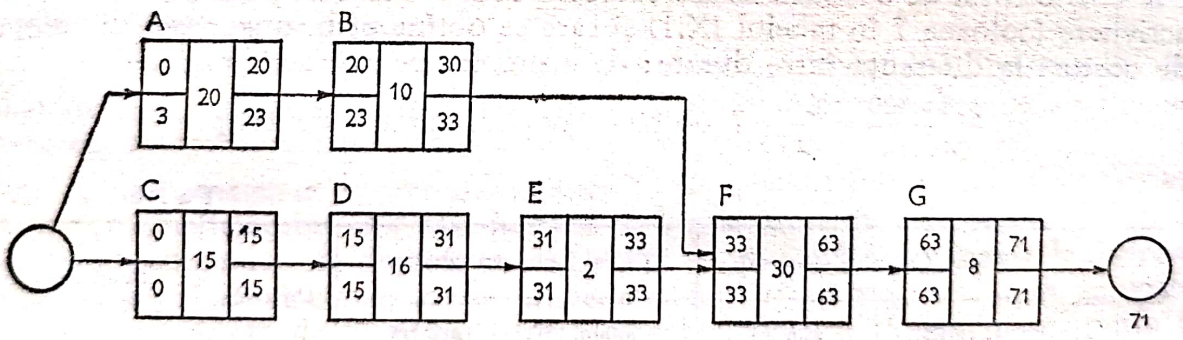


Fig. IX. 9

scurta această activitate cu 8 unități de timp, dar remarcăm că numai scurtarea cu 3 zile are efect; după această scurtare activitățile *A* și *B* care aveau la început marja egală 3 devin critice, astfel încît o scurtare suplimentară nu poate avea loc decît prin scurtarea concomitentă a drumului *AB*.

Scanned with OKEN Scanner

Deci, în primul pas scurtăm durata cu 3 zile.
Bilanțul costurilor este:

$$3\times5-3\times14=-27.$$

Costul este cu 27 unități mai mic decît cel obținut la primul calcul.
Completăm tabelul IX.2 cu datele rezultate.
Pasul III. Există două posibilități pentru o nouă scurtare:
— scurtăm drumul FG;
— scurtăm simultan drumurile AB și CDE.
Dintre activitățile F și G, coeficientul cel mai mic îl prezintă F: 10.
Pe drumul AB cea mai convenabilă scurtare este scurtarea lui B ($K=6$), iar pe drumul CDE cea mai convenabilă este scurtarea lui D ($K=5$). Scurtarea simultană a lui B și D consumă $6+5=11$ unități de cost/unitatea de timp.
În concluzie, este mai convenabilă scurtarea lui F.
În această etapă se obține:
— scurtarea totală, 4;
— variația de cost, $+4\times10-4\times14=-16$.
Pasul IV. Alternativele analizate la pasul III există și acum:
— scurtarea drumului FG, prin scurtarea lui G;
— scurtarea drumurilor AB și CDE.
Coeficientul de cost este pentru prima alternativă egal cu 17, iar pentru a doua, așa cum s-a arătat mai înainte este, 11.

Așadar cea de a doua alternativă este mai avantajoasă și deci vom scurta perechea de operații B și D. Scurtarea admisibilă este de 2 zile, atît cît este posibilă scurtarea lui B.
În acest pas se obțin:
— scurtarea totală, 2;
— variația de cost, $2\times11-2\times14=-6$.

Pasul V. Pentru a continua scurtarea drumului AB putem acționa asupra lui A, al cărui coeficient este 7.
Activitatea D mai poate fi scurtată cu trei zile, astfel încît vom reduce durata totală prin diminuarea duratelor perechei de activități A și D, pentru care coeficientul total este $7+5=12$, (față de 17, cît este coeficientul lui G).
Rezultatele obținute în acest pas sînt:
— scurtarea duratei, 3
— variația de cost, $3\times12-3\times14=-6$.
Pasul VI. Se mai poate obține scurtarea prin:
— scurtarea simultană a duratelor pentru perechea de activități AC—$K=7+8=15$;
— scurtarea activității G : $K=17$.
Alegem prima alternativă ca fiind mai avantajoasă.
— scurtarea poate fi de 1;
— variația de cost, $1\times15-1\times14=+1$

Constatăm că efectuarea acestui pas conduce la o creștere a costurilor. Rezultă că varianta obținută în pasul precedent este cea optimă.

Scanned with OKEN Scanner

Graficul din fig. IX.10 dă o imagine sugestivă a drumului parcurs pentru rezolvarea problemei propuse.

Analizînd coloana V din tabelul IX.2 putem constata că 4 din activități vor fi realizate cu duratele minime (B, D, E, F), două cu duratele normale (C și G) și una cu o durată intermediară (A).

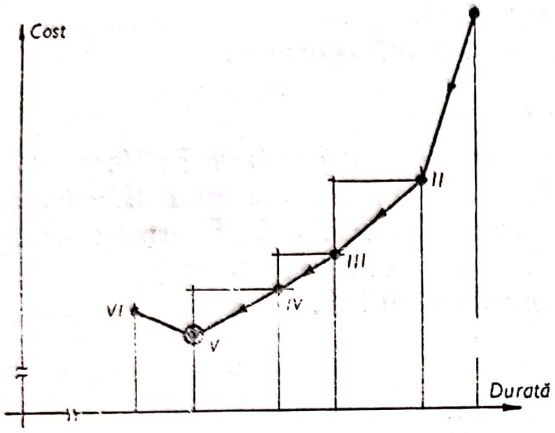


Fig. IX.10

Exemplul tratat a fost ales în mod intenționat foarte simplu. Cititorul își poate face acum o impresie asupra complicațiilor de calcul care apar în cazul grafurilor cu sute de activități, cînd la fiecare pas apar numeroase alternative de scurtare care trebuie analizate, cînd în cadrul fiecărei alternative trebuie scurtate simultan mult mai multe drumuri, și cînd relațiile cost-durată, atît pentru activități cît și pentru cheltuielile globale, nu sînt liniare, ci sînt reprezentate prin curbe mai mult sau mai puțin complicate.

Rezolvarea problemelor reale se face cu ajutorul programării liniare parametrice și necesită după cum s-a mai arătat, folosirea unor calculatoare electronice puternice.

X

PROGRAME CU DURATE ȘI EVENIMENTE ALEATORII SAU INCERTE

1. DURATE ALEATORII ȘI INCERTE

În capitolele precedente a fost luată în considerare pentru fiecare activitate o durată certă, *deterministă*. În realitate, duratele activităților pot fi rareori prevăzute exact; duratele efective se abat mai mult sau mai puțin de la cele planificate. Cînd limitele de variație la care ne putem aștepta sînt mici, sau cînd duratele sînt mici și sînt ușor influențabile de către coordonatorul proiectului prin alocarea de resurse corespunzătoare, calculul cu durate certe este întrutotul satisfăcător. Este în special cazul planificării operative a execuției lucrărilor de construcții uzuale, pentru care există suficientă experiență, și unde, duratele activităților fiind relativ scurte, programul poate fi urmărit din aproape în aproape și impulsionat în mod corespunzător.

Scanned with OKEN Scanner

Nu la fel stau lucrurile în cazul proiectelor de dezvoltare de mare anvergură, cum ar fi de exemplu proiectul unui mare combinat industrial sau al unor mari hidrocentrale ale căror programe se întind pe mai mulţi ani şi ale căror activităţi componente sînt la început foarte slab conturate şi au durate de ordinul lunilor, trimestrelor sau chiar anilor.

Într-o situaţie similară se găsesc programele de cercetări sau proiectele care comportă numeroase activităţi de experimentare, concepţie, prospecţiuni geologice etc.

În asemenea cazuri este recomandabil să se facă o estimare probabilistică a duratelor şi termenelor. Pot fi întîlnite două situaţii:

1) Activitatea nu este cu totul nouă, ci a mai fost executată de un număr de ori şi în trecut, în condiţii diverse. Acesta este cazul, de exemplu, cînd într-o singură activitate este cuprinsă întreaga execuţie a unui obiect de construcţie, hală, drum, pod etc. Pentru acestea se poate face o cercetare statistică a duratelor din trecut (v. cap. II) şi se poate determina o *durată medie* (*aşteptată*) şi *dispersia* ei (pătratul abaterii standard).

2) Activităţile au un caracter cu totul nou (cercetări, experimentări, concepţie, prospecţiuni) şi nu se poate cunoaşte distribuţia duratelor. În aceste cazuri se cere specialiştilor să estimeze pentru fiecare activitate I trei durate:

— o durată minimă, numită şi *durată optimistă* a_I;
— o durată maximă numită şi *durată pesimistă* b_I;
— durata cea mai probabilă m_I.

Practic, se consultă, deobicei, un număr oarecare de specialişti cu experienţă, care trebuie să facă estimările independent unul de altul şi neinfluenţaţi de termene fixe sau de presiuni exterioare. Răspunsurile sînt prelucrate statistic, făcîndu-se mediile $\overline{a_I}$, $\overline{b_I}$, $\overline{m_I}$.

Media poate fi uneori ponderată, acordîndu-se fiecărui specialist un coeficient de încredere în funcţie de experienţa lui şi de măsura în care s-au împlinit alte pronosticuri similare făcute de respectivul specialist în trecut. Folosirea repetată a acestei tehnici permite cu timpul caracterizarea personală a fiecărui specialist: optimist, pesimist etc.

Procedeul descris este un exemplu de felul în care cercetarea operaţională pune în valoare experienţa şi intuiţia colectivă.

Cu ajutorul valorilor a, b, m se calculează durata aşteptată şi dispersia. Metoda PERT recomandă din motive de comoditate relaţiile:

$$D(I) = \frac{a_I + 4\,m_I + b_I}{6}$$

$$\sigma(I)^2 = \frac{(b_I - a_I)^2}{6}$$

care corespund unei legi de distribuţie de tip β.

În continuare, cu ajutorul regulilor de calcul cunoscute, se determină pentru fiecare activitate I termenul de terminare cel mai devreme aşteptat $\overline{TD}(I)$ şi termenul cel mai tîrziu $\overline{TT}(I)$, operînd cu duratele aşteptate, aşa cum se opera pînă în prezent cu duratele deterministe.

Scanned with OKEN Scanner

Se calculează, de asemenea, pentru fiecare activitate I, dispersia $\sigma^2_{TD(I)}$ a valorii $TD(I)$, care este egală cu suma dispersiilor activităților de pe drumul cel mai lung (drumul critic local) dintre activitatea inițială și activitatea I:

$$\sigma^2_{TD(I)}=\sigma[k_1]^2+\sigma[k_2]^2+\sigma[k_3]^2.....+\sigma[I]^2$$

unde k_i indică activități de pe drumul critic local al activității (I).

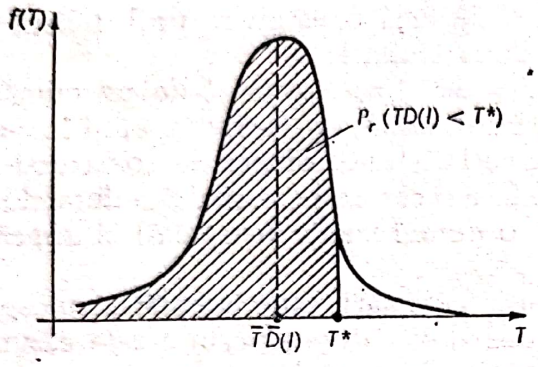


Fig. X. 1

În virtutea *teoremei centrale limită* (v. cap. II) $TD(I)$ este o variabilă aleatoare, distribuită după legea normală (Gauss-Laplace), cu media $\overline{TD}(I)$ și dispersia $\sigma^2_{TD(I)}$ (v. fig. X.1).

Ca urmare avem posibilitatea de a calcula probabilitatea ca activitatea I să se termine înainte de un termen T^* care ne interesează.

Dacă T^* este de exemplu egal cu $\overline{TD}(I)+\sigma^2_{TD(I)}$ atunci probabilitatea ca activitatea I să se termine înainte de termenul T este de 0,84 sau, în procente, 84%. Dacă termenul T^* este chiar $TT(I)$, probabilitatea rezultată este egală cu probabilitatea ca activitatea I să nu pericliteze termenul final al proiectului. Probabilitatea în jur de 0,50 indică o situație acceptabilă, probabilitatea sub circa 0,35 indică o situație periculoasă, în timp ce o probabilitate mai mare de circa 0,65 indică o situație deosebit de favorabilă.

Luarea deciziilor în astfel de situații (de exemplu acceptarea termenelor fixate, renunțarea la contractarea lucrării, solicitarea altor termene), se bazează pe procedee ale *teoriei deciziei* (v. cap. XIX).

2. EVENIMENTE ALEATORII

În anumite cazuri sînt necunoscute nu numai duratele ci chiar configurația exactă a grafului, care este în funcție de anumite evenimente ale programului însuși (de exemplu de rezultatele intermediare ale cercetărilor, experimentărilor, prospecțiunilor).

O planificare științifică a acestui tip de proiecte presupune analizarea tuturor variantelor, pe baza unor ipoteze asupra rezultatelor intermediare, astfel încît să se poate evalua durata lucrării în diferitele situații probabile și să se reducă la minimum efectul elementului „surpriză".

În asemenea cazuri se face apel la o tehnică specială de planificare, bazată pe folosirea *nodurilor probabilistice* (v. cap. VI). În fig. X.2 este reprezentat un subgraf conținînd cîteva activități de pregătire ale unei investiții industriale.

Scanned with OKEN Scanner

Planificatorul a întrezărit că rezultatul aprobării poate fi: fie „se aprobă varianta *I*" care prevede procurarea utilajelor din import (probabilitatea 60%) fie „se aprobă varianta *II*" care prevede proiectarea și realizarea utilajului în țară (probabilitatea 30%) fie „se respinge studiul" (probabilitate 10%).

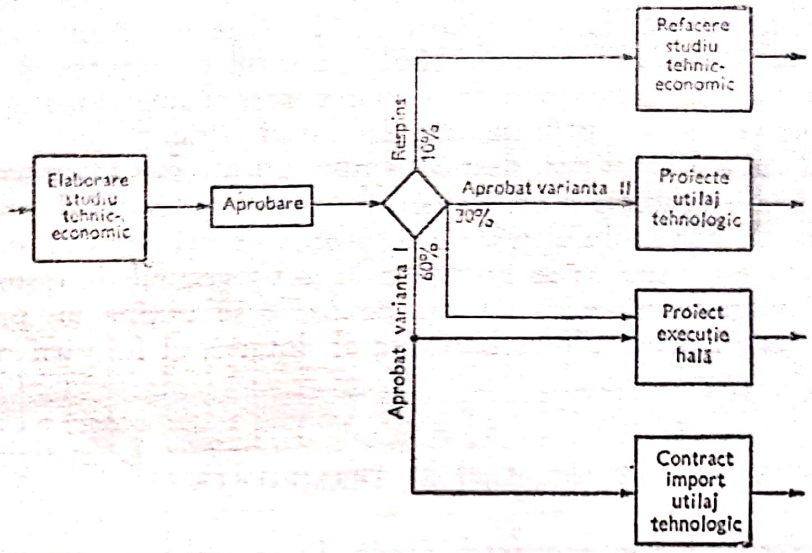


Fig. X. 2

XI

ORDONANȚAREA RESURSELOR

1. PUNEREA PROBLEMEI

Oricît de corect, din punct de vedere tehnologic, ar fi întocmit programul activităților, el este de la început sortit eșecului dacă nu se va dispune la timp de materialele, mîna de lucru, utilajele, fondurile necesare. Este destul de răspîndită încă teza greșită că o bună planificare nu se poate instaura decît în cazul existenței unei supraabundențe de mijloace, care să le facă disponibile la momentul oportun.

O astfel de supraabundență ar fi total nerațională, neeconomică; soluția rațională este tocmai cea inversă: *să se realizeze disponibilitatea la timp a mijloacelor printr-o planificare bună, în concordanță atît cu procesul tehnologic cît și cu mijloacele efecti disponibile.*

Resurse. Prin *resurse*, în sensul teoriei ordonanțării, se înțeleg toate mijloacele de orice natură, care se pot exprima cantitativ, necesare pentru desfă-

șurarea unei activități: fonduri bănești, materiale, manoperă de diferite specialități, utilaje, energie, spațiu de lucru și depozitare, capacitate de transport, personal de specialitate și supraveghere, capacitate de cazare etc.

Un prim pas necesar a fi făcut pentru a se putea realiza dezideratul de a dispune la momentul oportun de resurse în cantități corespunzătoare este acela de a se întocmi un *program de resurse* corect, corespunzător unui program de activități corect și realizabil. Cunoscînd necesarul de resurse al fiecărei activități, se poate calcula un program de resurse corect și amănunțit în cazul în care lucrarea a fost planificată prin metoda drumului critic.

Dar realizarea acestui pas, deși constituie un progres însemnat, este departe de rezolvarea satisfăcătoare a problemei, deoarece programul de resurse întocmit nu ține seama de disponibilul real de resurse. Este necesar deci un al doilea pas care se face în sens invers: se pornește de la programul de resurse și se caută modificarea programului activităților, pentru a se obține un program convenabil sub aspectul procesului tehnologic al duratei, al folosirii resurselor și al costurilor.

2. NOȚIUNI ȘI TERMINOLOGIE

Totalul resursei este cantitatea totală de resursă necesară pentru execuția unei anumite activități. Se mai numește și *lucrul util* al resursei.

Intensitatea resursei este cantitatea de resursă pe unitatea de măsură a timpului, de obicei pe zi lucrătoare. Se mai folosește și termenul: *rata resursei.*

Intensitatea resursei poate fi *constantă* pe toată durata realizării activității sau poate fi *variabilă.* Variația poate fi *continuă* sau *în trepte* (sub formă de histogramă).

În cazul intensității constante, există următoarea relație:

$$\text{intensitatea} \times \text{durata activității} = \text{totalul resursei.} \qquad \text{(XI.1).}$$

La o analiză mai fină se constată că această relație nu este riguros valabilă pentru orice intensitate de resurse. Într-adevăr, nu același rezultat poate fi obținut în cazul în care se folosesc pentru o anumită activitate 100 de oameni pe timp de o zi, ca în cazul în care se folosesc 20 de oameni timp de 5 zile. Intervine noțiunea de *randament,* care este funcție de intensitatea resursei. Relația (XI.1) devine:

$$\text{intensitatea} \times \text{randamentul} \times \text{durata activității} = \text{totalul resursei.} \qquad \text{(XI.2)}$$

Se pot distinge:

— *intensitatea normală,* corespunzătoare randamentului maxim, se exprimă prin numărul maxim de oameni și/sau de utilaje care pot fi folosite cu randament maxim; corespunde duratei normale a activității;

— *intensitatea maximă* sau accelerată corespunde duratei minime;

— *intensitatea minimă* este cea mai mică intensitate posibilă desfășurării activității; ea corespunde în general formației minime de lucru.

Cele mai multe resurse sînt de tipul cu *total fix.* În cazul acestora, totalul resursei necesare unei activități nu depinde de durata activității; de exemplu,

Scanned with OKEN Scanner

necesarul de cărămizi pentru zidăria unui nivel este evident independent de durata execuției zidăriei respective.

Alte resurse sînt cu *intensitate fixă*, independentă de durata activității; de exemplu, pompa pentru epuismente, personalul de supraveghere.

Activități-hamac. Pentru a putea exprima necesarul unor resurse folosite în comun de mai multe activități, cum ar fi: personalul de supraveghere, maca-

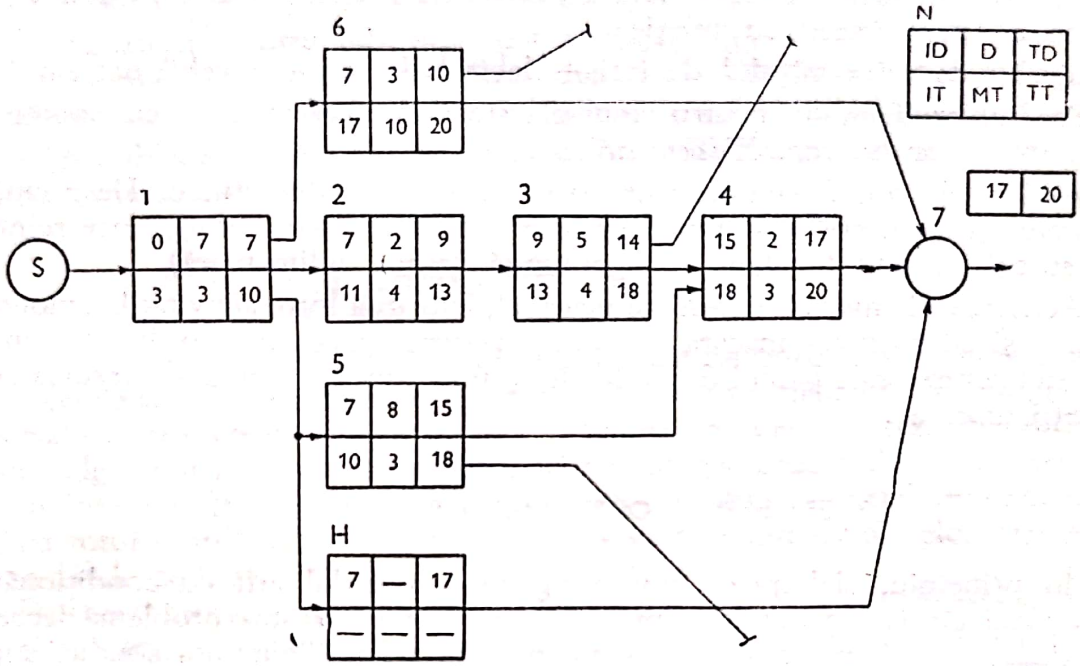


Fig. XI. 1

ralele, pompele, se folosesc activități fictive denumite *activități-hamac*. Un exemplu este activitatea *H* din fig. XI.1. O astfel de activitate nu are durată fixă, prestabilită; durata ei rezultă în timpul programării (respectiv în timpul execuției) și este egală cu diferența între termenul de începere a activității următoare (în fig. XI.1 nodul *7* are termenul 17) și termenul de terminare a activității precedente (activitatea *1* are termenul 7). În cazul din figură activitatea-hamac va avea durata $17-7=10$.

Activității-hamac *H* i se pot afecta resursele comune necesare pe toată perioada realizării activităților *2*, *3*, *4*, *5* și *6*, cum ar fi de exemplu o macara sau un specialist pentru supraveghere.

Nivelul necesar al resursei *R*, la o anumită dată *D*, este egal cu suma intensităților resursei *R* corespunzătoare activităților care se încep sau sînt în curs de execuție la data *D*.

Nivelul disponibil al resursei *R* la o anumită dată, este cantitatea de resursă *R* care se prevede a fi disponibilă la acea dată. Se pot lua în considerație un *nivel normal*, care corespunde posibilităților normale ale întreprinderii, și unul

Scanned with OKEN Scanner

sau mai multe *niveluri suplimentare* pentru realizarea cărora trebuie făcut un efort (de exemplu ore suplimentare).

Unele resurse sînt *stocabile* (de exemplu materialele) altele *nestocabile* (de exemplu manopera, betonul, prestațiile utilajelor). Pentru resursele stocabile este necesar să se cunoască un *nivel de stocare maxim*, care este dat de capacitatea de stocare, și *debitul resursei*, care este cantitatea ce se poate aproviziona în unitatea de timp (de exemplu 10 000 t ciment pe zi). Nivelul disponibil al resursei (stocul) este o necunoscută a problemei și se determină în cursul calculelor de programare cu relația:

nivelul de azi = nivelul de ieri + debitul de ieri — nivelul necesar ieri.

Studiul programului pentru resursele stocabile face apel la cunoștințe de teoria stocurilor (v. cap. XVII).

Activitățile pot fi *consumatoare* și/sau *furnizoare de* resurse. De exemplu activitatea „de cofrare" consumă manoperă dar furnizează cofraje, care reîntregesc stocul existent (evident cu o anumită uzură suplimentară).

Activitatea-hamac „funcționare macara", cuprinsă între activitățile „montare macara" și „demontare macara" consumă resursa „macara" (nivelul disponibil al acestei resurse este parcul de macarale în funcțiune) și furnizează resursa „ore prestații macara".

3. PROBLEMA OPTIMIZĂRII PROGRAMULUI

În principiu, elaborarea unui program compatibil atît cu condiționările tehnologice cît și cu disponibilul prezumat de resurse, nu este o problemă deosebit de dificilă, atîta timp cît nu ne preocupăm și de îndeplinirea unor condiții suplimentare, ca de exemplu scurtarea la minimum a duratei, înscrierea într-o durată dată, uniformizarea folosirii mîinii de lucru.

Dificultățile (teoretice și practice) apar atunci cînd se pune problema ca programul rezultat să nu fie oarecare, ci să fie *optim*.

Prima dificultate constă în a defini ce înseamnă program optim, cu alte cuvinte de a stabili *criteriul de optim*. Acest criteriu ar trebui să țină seama de o serie de condiții complexe, uneori contradictorii ca: durata totală, respectarea unor termene intermediare, folosirea continuă a mîinii de lucru și a utilajelor, cost minim etc.

Atunci cînd durata este fixă, optimul căutat poate fi *folosirea cît mai completă și uniformă a resurselor nestocabile*.

În alte cazuri se caută minimizarea duratei, punîndu-se condiția să nu se depășească în niciun caz nivelurile disponibile ale resurselor.

În sfîrșit, criteriul cel mai complex este acela al minimizării costurilor. Costurile care intervin în balanță fiind:

— cheltuielile directe, calculate ținînd seama și de intensitatea și randamentul resurselor;

— cheltuielile indirecte, proporționale cu durata totală;

Scanned with OKEN Scanner

— beneficiile pe unitatea de timp care se vor produce prin punerea în funcțiune a investiției sau numai o cotă parte care va fi acordată constructorului sub formă de bonificație;

— penalizări pentru depășirea anumitor termene;

— plata muncitorilor și utilajelor pe perioadele de inactivitate și pentru mutarea de la un loc de muncă la altul;

— penalizări pentru depășirea nivelului normal al resurselor;

— costurile de aprovizionare și stocare (v. cap. XVII);

— penalizări pentru întreruperea activităților (penalizările vor fi mai mari pentru activitățile care nu trebuie întrerupte, ca de exemplu o turnare de betoane, și mai mici sau chiar nule pentru activitățile care pot fi întrerupte fără pagube);

— o dobîndă (fictivă sau nu) pentru fondurile imobilizate în lucrare, pînă la darea ei în funcțiune.

4. METODE DE OPTIMIZARE

Există în prezent un număr mare de metode de optimizare care țin seama de aspectele analizate. Unele din acestea se bazează pe algoritmi ai programării matematice, care conduc în mod sigur la soluția optimă căutată. Dar folosirea acestor algoritmi necesită calculatoare foarte mari și durate de calcul mari, cu alte cuvinte, conduc la costuri de calcul mari. De altfel, o astfel de rigurozitate este cu totul inutilă avînd în vedere caracterul aproximativ al celor mai multe dintre datele de bază.

Din acest motiv, în prezent se face apel la *procedee heuristice* bazate pe reguli intuitive, care nu conduc cu siguranță la soluția optimă, ci la una sau mai multe soluții *bune*, între care decidentul o poate alege pe cea mai convenabilă.

Metodele existente se diferențiază prin faptul că iau în considerare:

— una sau mai multe categorii de resurse;

— unul sau mai multe proiecte;

— unu sau mai multe intensități posibile și corespunzător una sau mai multe durate posibile, pentru fiecare activitate;

— intensitatea resursei constantă sau nu în decursul execuției activității;

— toate, o parte sau nici unul din costurile enumerate în paragraful precedent;

— diferite procedee de calcul;

— diferite criterii de optim și în speță diferite criterii de a fixa prioritatea activităților;

— calculatoare electronice de diferite mărimi, corelat cu diferite dimensiuni și complexități de proiecte.

Abordarea, prin calcul manual, a problemelor de optimizare a programelor de resurse este practic imposibilă; este necesar să se apeleze la serviciile unui calculator electronic.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru aceasta beneficiarul nu trebuie să cunoască în amănunt procedeul de calcul ci numai forma în care trebuie prezentate la calculator datele problemei, principiile fundamentale ale programului de calcul de care se dispune.

Din aceste motive nu este util a se face aici o expunere detaliată a procedeelor de calcul. Cu ajutorul unui exemplu foarte redus s-a urmărit numai să se scoată în evidență principiile și avantajele folosirii metodei drumului critic pentru elaborarea programului de resurse.

Exemplu de calcul. Se cere să se elaboreze un program de resurse pentru un proiect al cărui graf este reprezentat în fig. XI.2, cunoscînd că pentru desfășurarea fiecărei activități este necesară o formație minimă formată din: 4 muncitori pentru activitatea *1*, 6 pentru activitatea *2*, 1 pentru activitatea *3*, 2 pentru activitatea *4*, 6 pentru activitatea *5*, niciunul pentru activitatea *6*. Disponibilul de muncitori este 7. La nevoie activitățile pot fi întrerupte. Programul activităților este calculat în fig. XI.2.

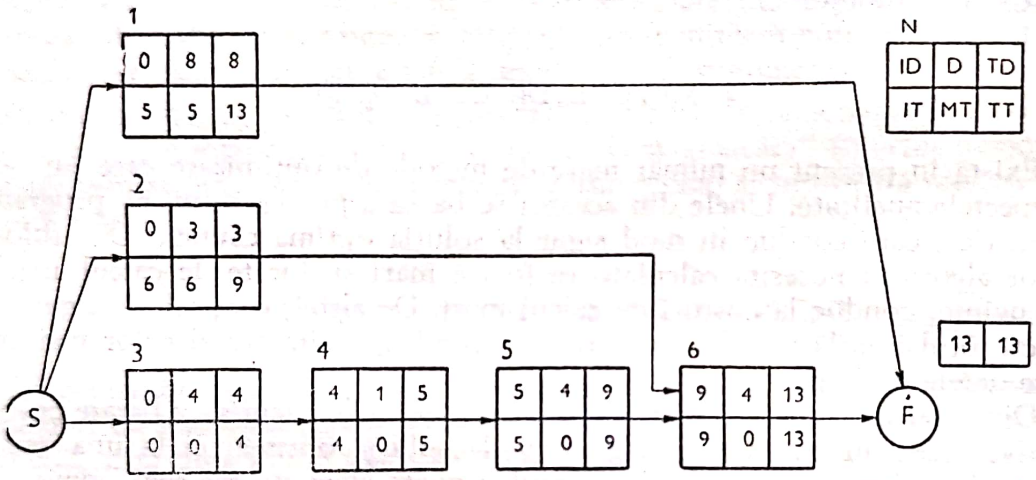


Fig. XI. 2

În fig. XI.3 este figurată histograma necesarului de oameni, considerînd că activitățile încep la termenele cel mai devreme. Pentru fiecare activitate a fost figurat cîte un dreptunghi avînd înălțimea direct proporțională cu numărul de muncitori necesari. Dreptunghiurile au

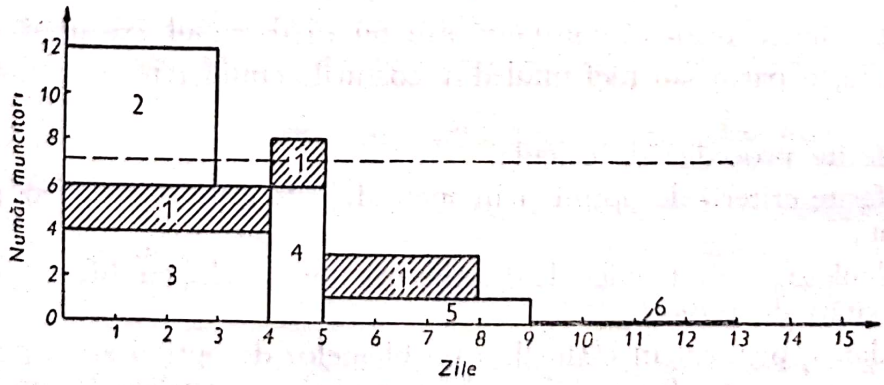


Fig. XI. 3

fost figurate în ordinea marjei activităților. După cum se vede, nivelul disponibil este depășit în intervalele *0—3* și *4—5*. Se spune că pe aceste intervale activitățile *1*, *2* și *3*, respectiv *1* și *4*, vin în conflict. Este necesar ca una sau două dintre activități să fie amînate. Activitatea *3* nu poate fi amînată deoarece este critică. În acest caz, activitatea *2* trebuie amînată deoarece nu poate avea loc simultan cu *3* ($4+6=10>7$).

Activitatea *1* se poate desfășura simultan cu *3*, astfel încît pe intervalul *0—4* vom planifica aceste două activități (fig. XI.4).

Vom reanaliza situația la termenul *4* cînd se termină activitatea *3*. Începînd de la acest termen ar putea fi executate următoarele activități: *1* (în continuare), *4* și *2*. Activitatea *4* fiind critică are prioritate. Simultan cu ele nu se mai poate planifica nici una dintre activitățile *1* și *2* deoarece s-ar depăși în ambele cazuri disponibilul, deci activitatea *1* se întrerupe.

Se analizează situația în momentul terminării activității *4* (termenul *5*). În acest moment pot fi executate activitățile *1*, *2* și *5*, activitatea *5* fiind critică are prioritate. Activitățile *1* și *2* vin din nou în conflict. Pentru a stabili prioritatea se analizează termenele de terminare cel mai tîrziu corespunzătoare, care sînt 13 pentru activitatea *1* și 9 pentru activitatea *2*. Se alege activitatea cu termenul cel mai mic care este *2* (v. fig. XI.4).

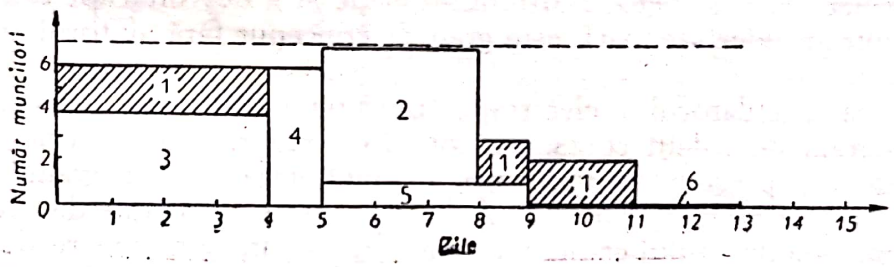


Fig. XI. 4

La termenul 8 poate fi reîncepută și activitatea *1* din care au mai rămas de executat 3 zile.

Figura XI.5 ilustrează programul care ar fi rezultat dacă la termenul *5* prioritatea ar fi fost acordată activității *1* în loc de *2*. Se vede că durata totală ar fi crescut cu două zile.

Acest exemplu ilustrează cum pe baza unor raționamente extrem de simple, cunoscînd termenele și marjele operațiilor se poate studia un program care să permită realizarea lucrării într-un termen minim. Dacă nu s-ar fi acordat prioritate activităților critice sau celor cu termene de terminare mai mici, durata programului ar fi rezultat mai mare. Este exact fenomenul care se petrece curent în practică, cînd nu se cunosc exact marjele activităților.

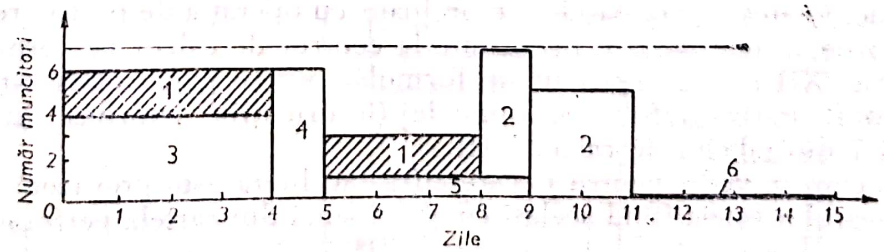


Fig. XI. 5

XII

ASPECTELE APLICĂRII ÎN PRACTICĂ A METODELOR MODERNE DE ORDONANȚARE

1. FOLOSIREA CALCULATOARELOR ELECTRONICE*

Deşi, după cum s-a putut constata, calculele care trebuie efectuate pentru rezolvarea problemelor de ordonanţare sînt în principiu simple, datorită volumului lor foarte mare şi datorită necesităţii realizării operativităţii şi exactităţii, aplicarea generalizată a metodei drumului critic şi a dezvoltărilor sale, mai ales în cadrul întreprinderilor mari, este greu de conceput fără ajutorul calculatorului electronic.

Folosirea calculatorului electronic presupune existenţa, în primul rînd, a unui program de calcul corespunzător. În prezent, marile firme furnizoare de calculatoare, prezintă întotdeauna în biblioteca de programe pe care o livrează o dată cu calculatorul şi unul sau mai multe programe de ordonanţare, bazate pe metoda drumului critic. Un număr din ce în ce mai mare dintre aceste programe se ocupă şi de problema alocării optime a resurselor. Bineînţeles, orice întreprindere îşi poate concepe la nevoie un program propriu de calcul, adaptat specificului şi necesităţilor sale.

Orice program de calcul este însoţit de instrucţiuni de folosire care indică beneficiarului:

— cum să pregătească şi să prezinte la calculator datele primare;

— cum să indice calculatorului calculele dorite, criteriile de optimizare dorite, forma finală a rezultatelor.

a. PREZENTAREA DATELOR PRIMARE

După ce s-a elaborat graful, s-au stabilit duratele activităţilor, s-au calculat resursele necesare fiecărei activităţi, toate aceste informaţii trebuie transmise calculatorului, cu ajutorul cartelelor sau al benzilor perforate. Pentru a se asigura productivitatea operatoarelor însărcinate cu operaţia de perforare şi pentru a evita erorile, datele trebuie prezentate la centrul de calcul pe formulare speciale. În fig. XII.1 este reprodus un formular pentru prezentarea informaţiilor privind configuraţia grafului şi duratele (informaţiile cuprinse în coloanele 1, 5, 6, şi 7 din tabelul de calcul VIII.3).

După cum se vede, pentru fiecare cifră sau literă este prevăzută cîte o coloană, numărul acesteia fiind acelaşi cu al coloanei din cartela perforată.

---

* O descriere generală a calculatoarelor electronice este dată la cap. XX.

Scanned with OKEN Scanner

PERT
GRAF
Tip cartelă
Proiect
Activitate
Durată
Activități precedente
Activități următoare
Activitate
Max-min
Semn
Interval
Clasa
Conținut

Fig. XII. 1

Pentru celelalte date, ca: titlul proiectului, denumirile activităților, resursele necesare fiecărei activități, există tipuri corespunzătoare de formulare.

Datele privitoare la resurse pot fi prezentate în principiu în două feluri:

— indicîndu-se pentru fiecare activitate o listă conținînd codurile resurselor și totalurile resurselor respectiv intensitățile (în cazul resurselor cu intensitate fixă);

— prezentînd o specificație a articolelor și cantităților din devizul lucrării, defalcate pe activitățile grafului; pe baza indicatorului de norme de deviz memorat de către calculator, acesta calculează necesarul de resurse al fiecărei activități.

La calculatoarele electronice mici este obligatoriu ca numerotarea activităților să se facă conform regulii de aur. La calculatoarele cu performanțe ridicate, această condiție nu mai este necesară. Este de menționat că la calculatoarele electronice moderne codul de identificare a activităților poate fi alfanumeric.

b. OPȚIUNI PRIVIND MERSUL CALCULELOR ȘI IMPRIMAREA REZULTATELOR

Pentru a satisface cele mai diverse necesități, programele de calcul actuale permit efectuarea calculelor și imprimarea rezultatelor într-un număr foarte mare de feluri. Din aceste motive, pentru fiecare caz concret trebuie indicat calculatorului ce are de făcut.

Ghidul de folosire al programului indică instrucțiunile corespunzătoare care trebuie date calculatorului.

Rezultatele calculelor (numite în cele ce urmează *ieșiri*) pot fi imprimate într-o mare varietate de forme. Forma și conținutul ieșirii sînt indicate calculatorului cu ajutorul unor parametri privind:

— tipul;
— formatul;
— selecția;
— secvența.

Tipul ieșirii indică dacă se cer rezultate privind programul activităților, programul resurselor sau date referitoare la costuri.

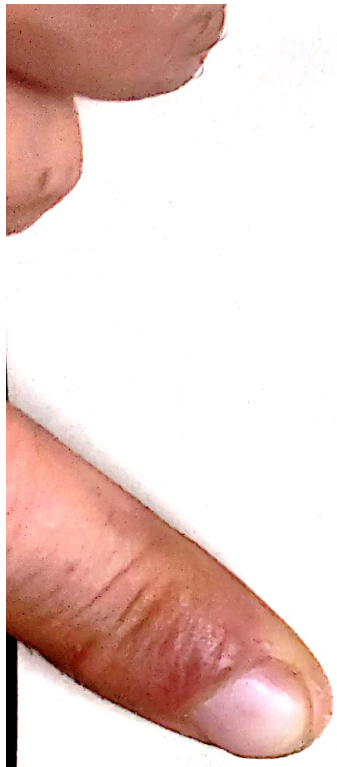
Formatul ieșirii se referă la rubricile care trebuie conținute, poziția lor în pagină etc. Figura XII.2 reproduce o ieșire a unui program de activități sub formă de tabel. Figura XII.3 conține aceleași date în format de grafic Gantt. După cum se poate vedea, barele activităților critice sînt realizate sub formă de șiruri de C, barele celorlalte activități sub formă de șiruri de A, urmate de șiruri de puncte care indică marja totală.

Activitățile nu sînt programate în zilele de duminică și sărbători legale (23, 24 August).

În fig. XII.4 este reprodusă o ieșire conținînd histograma necesarului de muncitori auxiliari la un mare șantier.

Selecția rezultatelor face posibilă o reducere a volumului ieșirilor, utilă atît pentru economisirea timpului de folosire a calculatorului, cît și mai ales pentru a asigura ușurința consultării rezultatelor de către cei interesați. Astfel,

Scanned with OKEN Scanner



CONSILIUL POPULAR AL ORASULUI BUCURESTI — PAG 1
DIRECTIA GENERALA CONSTRUCTII MONTAJ — REACTUALIZAT LA 1APR68
INTREPRINDEREA CONSTRUCTII MONTAJ 2 — CALCULAT LA 3APR68
SANTIERUL NR.5
OBIECTUL: HOTEL INTERCONTINENTAL

TABEL DE TERMENE

NR ACT	DENUMIREA ACTIVITATII	CINE RASPUNDE	*DU* RATA	*CEL MAI DEVREME* INCEPE	TERMINA	*CEL MAI TIRZIU* INCEPE	TERMINA	*MARJA TOT
88	LANSARE COMANDA OTEL PCS2 PENTRU RADIER SI SUBSOL	APROV	0,2	1APR68	3APR68	2APR68	4APR68	0,1
90	CONTRACT GRIGLURA	APROV	2,0	1APR68	15APR68	4APR68	18APR68	0,3
91	COMANDA PLASTIFIANT	APROV	0,2	1APR68	3APR68	16APR68	18APR68	2,1
92	URMARIRE APROVIZIONARE PCS2 PENTRU SUBSOL+PARTER	APROV	4,0	3APR68	3MAI68	4APR68	4MAI68	0,1
96	ELABORAREA PROIECT GENERAL DE ORG.TEHN.PROT.MUNC	TEHN	2,0	8APR68	22APR68	8APR68	22APR68	0
97	ELABORAREA SOLUTIILOR DE COFR.+MASURAT MATERIALE	TEHN	0,3	8APR68	11APR68	22APR68	25APR68	2,0
98	COMANDA MATERIALE COFRAG	APROV	0,2	11APR68	13APR68	30APR68	3MAI68	2,4
104	APROVIZIONARE MOSTREI DE GRINDA PENTRU PROBE PRELIMINARE	APROV	2,0	15APR68	29APR68	18APR68	3MAI68	0,3
105	ELABORAREA PROIECTULUI DE TRASARE TOPOMETRICA	TEHN	1,0	17APR68	24APR68	18APR68	25APR68	0,1
109	CALE MACARA 28 45	TEHN	2,0	22APR68	6MAI68	22APR68	6MAI68	0
112	EXPERTIZAREA PROIECTULUI DE TRASARE A NIVELELOR LA INSTIT. DE CONSTRUCTII	TEHN	1,0	24APR68	3MAI68	25APR68	4MAI68	0,1
118	AVIZAREA TEHNOLOGICA A SOLUTIE DE FATADA	TEHN	0,2	29APR68	3MAI68	29APR68	3MAI68	0

Fig. XII. 2

Scanned with OKEN Scanner

CONSILIUL POPULAR AL ORASULUI BUCURESTI — PAG 2
DIRECTIA GENERALA CONSTRUCTII MONTAJ — REACTUALIZAT LA 30IUL68
INTREPRINDEREA CONSTRUCTII MONTAJ 2 — CALCULAT LA 2AUG68
SANTIERUL NR.5

A=GRAFIC APROBAT
R=GRAFIC REALIZARI
P=PREVIZIUNI

GRAFICUL VALORIC AL PRODUCTIEI
(IN MIL LEI)

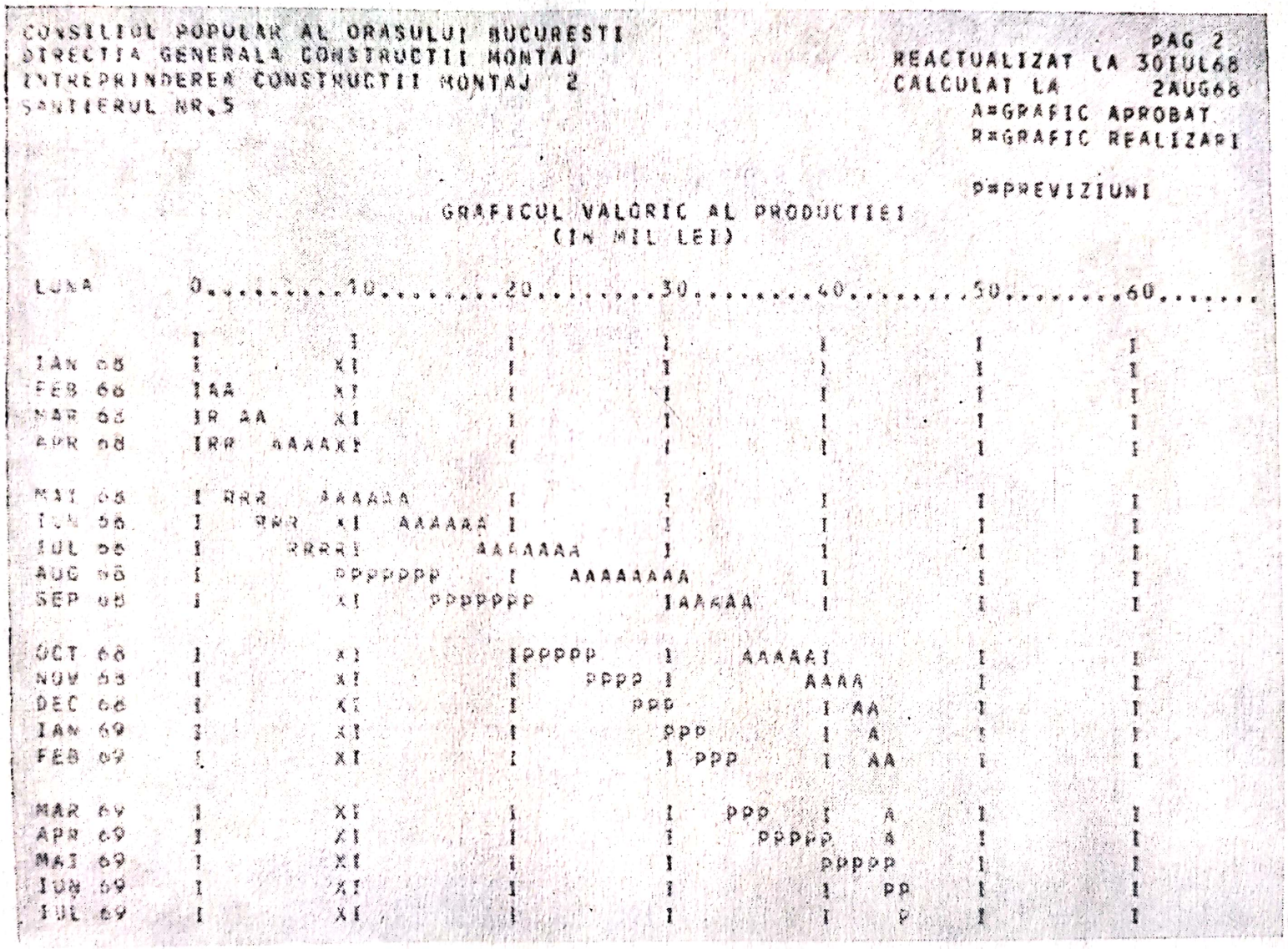


Fig. XII. 3

Scanned with OKEN Scanner

CONSILIUL POPULAR AL ORASULUI BUCURESTI — PAG. 1
DIRECTIA GENERALA CONSTRUCTII MONTAJ — REACTUALIZAT LA 1APR68
INTREPRINDEREA CONSTRUCTII MONTAJ 2 — CALCULAT LA 3APR68
SANTIERUL NR.5
OBIECTUL: HOTEL INTERCONTINENTAL

GRAFIC DE EXECUTIE

NR ACT	DENUMIREA ACTIVITATII	1 APR68	8 APR68	15 APR68	22 APR68	29 APR68	6 MAI68
		x	I	I	I	I	I
88	LANSARE COMANDA OTEL PC52 PENTRU RAC DIER SI SUBSOL	AA. x	I	I	I	I	I
90	CONTRACT CRIBLURA	AAAAAAAAAAAA... x	I	I	I	I	I
91	COMANDA PLASTIFIANT	AA..... x	I	I	I	I	I
92	URMARIRE APROVIZIONARE PC52 PENTRU SUBSOL+PARTER	AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA. x	I	I	I	I	I
96	ELABORAREA PROIECT GENERAL DE ORGANIZARE TEHNOLOGIE,PROTECTIA MUNCII	CCCCCCCCCCC x	I	I	I	I	I
97	ELABORAREA SOLUTIILOR DE CONFR +MASURAQ TOAREA DE MATERIALE	AAA..... x	I	I	I	I	I
98	COMANDA MATERIALE COFRAG	AA..... x	I	I	I	I	I
104	APROVIZIONAREA MOSTREI DE CRIBLURA PENTRU PROBE PRELIMINARE	AAAAAAAAAAA... x	I	I	I	I	I
105	ELABORAREA PROIECTULUI DE TRAS.TOP.	AAAAAA.					
109	CALE MACARA 2845	x	I	I	I	I	I
					CCCCCCCCCCC		
112	EXPERTIZAREA PROIECTULUI DE TRASARE A NIVELELOR LA INST.CONSTR.	x	I	I	I	I	I
		x	I	I	I	I	I
					AAAAAA.		
118	AVIZAREA TEHNOLOGICA A SOLUTIEI DE FATADA	x	I	I	I	CC I	I

Fig. XII. 4

Scanned with OKEN Scanner

activitățile pot fi selectate în funcție de: *data începerii* (se imprimă numai programul activităților care încep în intervalul de timp imediat următor), *responsabilul activității* (fiecare responsabil primește o listă conținînd numai activitățile sale), *marja activității* (pentru nivelurile de conducere superioare pot fi interesante numai activitățile critice și subcritice), *codul de raportare* (se selectează numai activitățile și evenimentele *cheie* care trebuie raportate la diferite niveluri de conducere) etc.

Secvența (ordinea) rezultatelor selecționate ușurează de asemenea citirea. Activitățile pot fi imprimate: în ordinea codului lor, în ordinea începerii, în ordinea terminării, în ordinea descrescătoare a marjei etc.

c. PROCEDEUL DE LUCRU LA CALCULATOR

Toate datele privind grafurile lucrărilor în execuție în cadrul întreprinderii se păstrează memorate permanent în calculator, ștergerea lor făcîndu-se numai pe măsură ce obiectele se dau în funcțiune.

Pe măsură ce apar obiecte noi se introduc în memorie și grafurile acestora.

Tot în memorie sînt păstrate și datele privind nivelurile disponibile de resurse pe perioadele următoare (în conformitate cu repartițiile, contractele, stocul sau capacitățile de stocare, datele statistice privind manopera, prezumările etc.).

Introducerea unui nou graf în memorie se face în două sau mai multe etape. În prima etapă se face o *simulare* de planificare. La efectuarea simulării calculatorul ține seama de nivelurile disponibile ale resurselor, dar resursele alocate noului proiect nu sînt scăzute din nivelurile disponibile memorate.

În principiu, alocarea resurselor, mai ales în cazul primei simulări, se face în calculator după principiul *primul venit, primul servit*, ceea ce înseamnă că pentru fiecare nou proiect se alocă numai resurse nefolosite de către proiectele introduse în prealabil.

După această primă simulare se analizează programul rezultat sub aspectul duratei, uniformității folosirii resurselor etc.

În cazul în care rezultatul este convenabil, graful se introduce definitiv în calculator și resursele alocate se scad din nivelul disponibil.

Dacă rezultatul este nesatisfăcător se analizează cauzele, care pot fi:

— drum critic prea lung și/sau

— insuficiență de resurse.

Scurtarea drumului critic se realizează prin procedeele examinate la cap. IX.

În caz de insuficiență de resurse, fie se caută majorarea disponibilului la resursele critice, fie, dacă este cazul, noului proiect i se acordă o prioritate specială, făcîndu-se excepție de la regula *primul venit, primul servit*. Graful se introduce în calculator pentru o nouă simulare. De data aceasta calculatorul va simula și reprogramarea altor proiecte, încercînd să asigure încadrarea noului proiect în termen. Rezultatele se analizează din nou, atît în ce privește celelalte proiecte reprogramate cît și proiectul nou: pot apărea noi resurse critice și noi secvențe critice. Simularea se reface pînă la găsirea unei soluții convenabile, după care graful se introduce definitiv în calculator, iar noul program al celorlalte proiecte se transmite spre execuție.

Scanned with OKEN Scanner

2. CONTROLUL ÎNDEPLINIRII PROGRAMELOR

În cap. II. s-a arătat importanța funcțiunii de control în funcționarea unui organism economic.

Controlul a fost definit ca fiind *compararea rezultatelor efective ale producției cu programul prevăzut.*

Folosirea metodelor moderne de ordonanțare permite să se transfere calculatorului această funcțiune de control.

Aceasta presupune ca în calculator să poată fi comparate:

— programul prevăzut;

— realizările efective.

Programul prevăzut se găsește în calculator, deoarece a fost calculat chiar de acesta.

Realizările efective pot fi transmise calculatorului prin intermediul documentelor corespunzătoare.

Controlul se efectuează asupra:

— termenelor activităților;

— consumului de resurse;

— costurilor.

a. CONTROLUL TERMENELOR

Controlul termenelor se face cu ajutorul unor *rapoarte* care se întocmesc de responsabilii activităților și care conțin:

— codul activității;

— data raportului;

— stadiul activității la data raportului (*început, terminat*);

— numărul de zile rămas pînă la terminare (în cazul în care se modifică durata prevăzută inițial).

Aceste rapoarte se întocmesc numai în următoarele ocazii: începerea activității, terminarea activității, modificarea duratei inițiale și eventual la sfîrșit de lună pentru activitățile în curs. După terminarea unei activități aceasta nu se mai raportează niciodată.

După cum se vede raportarea este foarte simplă și clară, iar sinceritatea ei este ușor de verificat pe teren, deoarece nu pot avea loc interpretări.

Pe baza acestor rapoarte, periodic (de exemplu săptămînal), calculatorul *reactualizează* programul și sesizează la nivelurile superioare rămînerile în urmă și factorii răspunzători.

Prin aceasta calculatorul îndeplinește parțial și funcția de *reglare* a procesului de producție.

b. CONTROLUL CONSUMULUI DE RESURSE

Pe baza rapoartelor descrise la pct. a, calculatorul poate calcula *consumurile tehnice* pentru toate resursele și le poate cumula la nivel de șantier, întreprindere etc. Pentru anumite resurse mai importante (ca de exemplu beton) se pot face grafice cumulative conținînd prevederile programului și realizările.

Scanned with OKEN Scanner

Pe de altă parte pot fi introduse în calculator și consumurile reale, pe bază de bonuri de consum și rapoarte de lucru. Rezultatele comparației pot fi puse sub o formă foarte convenabilă pentru urmărit. Important este că acest control se face foarte frecvent (săptămînal), foarte operativ, foarte exact și foarte detaliat. Detalierea poate merge pînă la nivelul activităților sau cel puțin la nivelul tipului de activitate (capitole de lucrări). Eventualele defecțiuni pot fi ușor localizate ceea ce ușurează eliminarea lor.

Programul de ordonanțare poate fi completat cu un program de control al stocurilor, al comenzilor lansate etc., astfel încît, calculatorul calculează nivelul disponibil al materialelor pe bază de documente oficiale (avize de expediție, contracte).

c. CONTROLUL COSTURILOR

Valorizînd rezultatele obținute prin controlul resurselor, se pot obține informații sintetice deosebit de utile.

Pot fi comparate: curba producției realizate, curba producției planificate, curba producției încasate, curba cheltuielilor efective.

Aceste date pot fi cumulate pe șantier, întreprindere, trust etc. și constituie indicații deosebit de prețioase și sintetice asupra mersului producției.

Rezultatele de la calculator se prezintă fie sub formă de tabele, fie sub formă de grafice cumulative de tipul celui din fig. III.3.

d. CALCULATORUL ELECTRONIC INTEGRAT ÎN ORGANISMUL ECONOMIC

Preluînd o bună parte din funcțiunea de control și reglare, calculatorul trebuie să se integreze organic în funcționarea organismului economic.

Figura XII. 5 reprezintă organizarea procesului de planificare, control și reglare a procesului de producție, în cazul folosirii calculatorului electronic.

Se pot remarca cu ușurință circuitele de retroacțiune (feed-back).

3. COORDONAREA EXECUȚIEI

Pentru coordonarea eficace a execuției este necesară o organizare corespunzătoare a „comandamentului" lucrărilor. Pentru lucrările de valoare și complexitate medie sau mare, este strict necesar să se prevadă un „grup de pilotaj" sau „serviciu dispecer" condus de un *pilot* sau *dispecer șef*, și un „grup de ordonanțare".

Rolul grupului de pilotaj este urmărirea continuă a desfășurării lucrărilor *numai sub aspectul coordonării* responsabililor de activități. Pilotul nu se ocupă, de exemplu, de controlul de calitate, de studierea soluțiilor tehnologice, de stabilirea de prețuri etc. Bazat pe rezultatele obținute de la calculator, pilotul urmărește îndeosebi respectarea termenelor activităților critice și subcritice, face mici modificări operative de program între două reactua-

Scanned with OKEN Scanner

lizări la calculator, controlează nivelul stocurilor, impulsionează aprovizionarea cu materiale critice, verifică prin sondaj sinceritatea rapoartelor.

Principalele instrumente sînt graficele și programele detaliate provenite de la calculator, iar mijlocul de comunicație cel mai eficace este telefonul și radiotelefonul. Pe șantierele mari, pilotul trebuie să dispună de o centrală telefonică suficient de ramificată. El este investit cu autoritatea de a lua *decizii tactice* legate în special de folosirea resurselor, al căror scop principal este de a asigura respectarea termenelor prevăzute. El nu are autoritatea de a face modificări în graf, de a modifica termene finale etc. Pilotul șef poate fi în general un adjunct al responsabilului proiectului.

Grupul de ordonanțare are rolul de a elabora la început graful inițial (în care scop poate fi format pe timp de 4—6 luni din 3—4 ingineri și un număr corespunzător de tehnicieni), apoi de a ține la curent acest graf, făcînd modificările care apar necesare. Grupul de ordonanțare colectează rapoartele responsabililor, ține legătura cu calculatorul electronic, analizează rezultatele și lansează programele.

Se recomandă ca la elaborarea grafului inițial responsabilul lucrării să par-

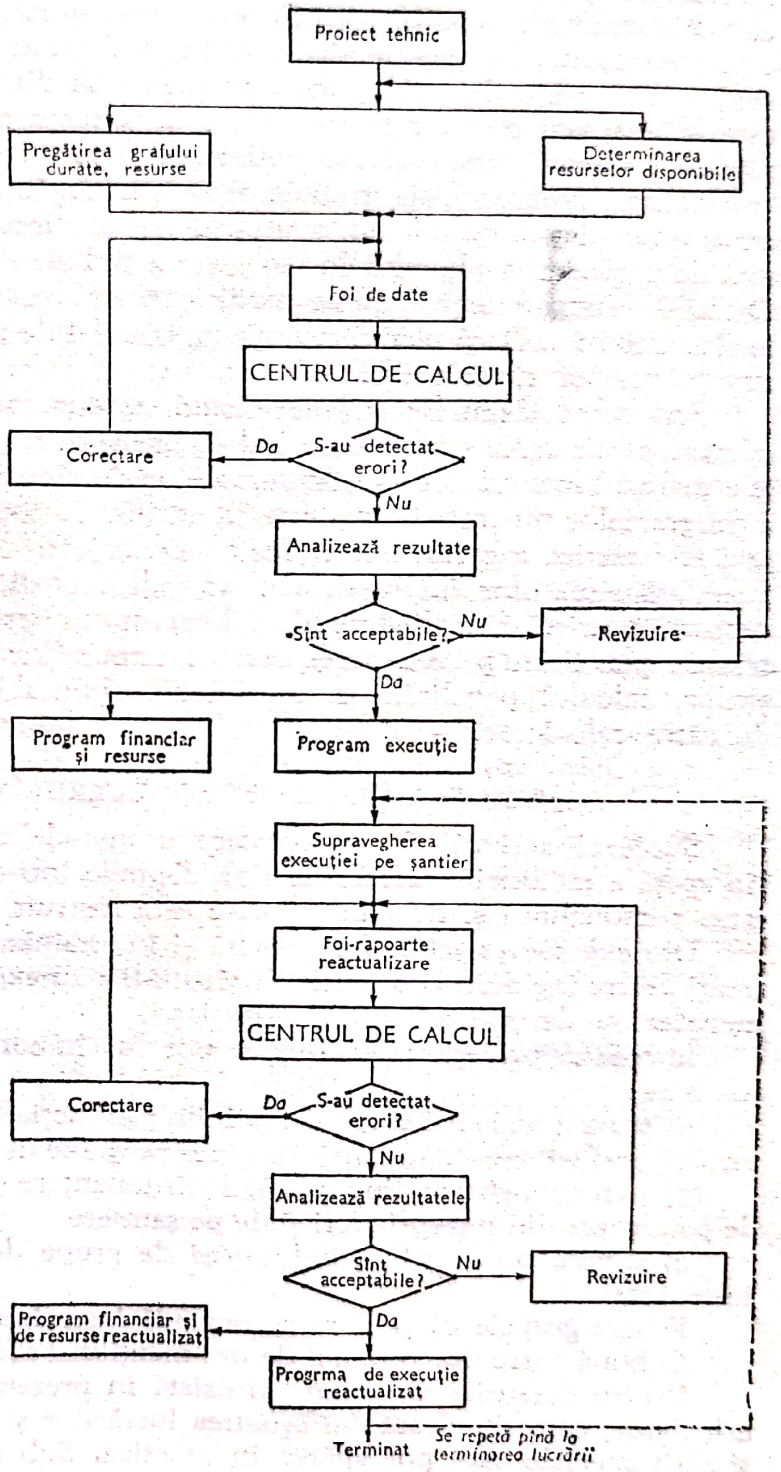


Fig. XII.5

ticipe direct, astfel încît graful să reflecte concepția și experiența sa. De asemenea, consultarea tuturor celorlalte subantreprize, atît în ceea ce privește structura grafului cît și duratele, este strict necesară. În acest sens, graful trebuie privit ca un instrument deosebit de eficace de comunicare și înțelegere între factorii care cooperează. El trebuie să constituie un document de lucru oficial, în care scop trebuie vizat de toți acești factori. Fiecare din factori răspunde de respectarea duratei cu care s-a angajat și de introducerea în graf a tuturor condiționărilor necesare care privesc activitatea lor.

O mențiune specială trebuie făcută în legătură cu depășirea planului. În cazul unui plan bine corelat, scurtarea neplanificată a duratelor unor activități față de prevederile planului în vigoare nu trebuie să constituie un scop în sine. O astfel de scurtare presupune modificări în alocarea resurselor, deci întîrzieri la alte activități. Dacă planul era optim, o astfel de modificare poate avea urmări neprevăzute și supărătoare.

Reducerea duratelor trebuie făcută așadar prin replanificare și nu prin eforturi haotice. Atenția trebuie îndreptată spre *respectarea* termenelor. Avantajele metodelor moderne și calculatoarelor de a permite reactualizarea frecventă a programelor nu trebuie invocate în sprijinul adoptării unei atitudini de neglijare sistematică a termenelor. Aceste avantaje trebuie folosite numai pentru a face față situațiilor imprevizibile. Metodele analizate aici fac posibilă dar și necesară o *strictă disciplină de plan.* În acest scop este util să se introducă un sistem de penalizări pentru nerespectarea termenelor activităților. Evidența depășirilor, calculul penalizărilor, stabilirea responsabilităților pot fi făcute chiar de către calculator.

4. ACȚIUNEA DE INTRODUCERE ÎN PRACTICĂ

Succesul acțiunii de introducere a metodelor moderne de ordonanțare (în speță a metodei drumului critic) depinde într-o mare măsură de receptivitatea personalului și de felul în care este instruit.

Din experiența acumulată în țară și în străinătate a rezultat clar că cei mai mulți dintre inginerii și tehnicienii cărora li s-au explicat principiile și avantajele metodei au devenit adepții ei entuziaști.

În ceea ce privește instruirea, se pot lua în considerare următoarele durate necesare:

a) pentru inginerii și tehnicienii din producție, pentru a putea urmări grafuri gata elaborate și a putea propune îmbunătățirea lor 60 h;

b) pentru inginerii din grupele de ordonanțare și pilotaj, cadre de conducere din întreprinderi și de pe șantiere 150 h.

c) pentru piloți șefi, conducători de grupe de ordonanțare, instructori 300—450 h;

Pentru grupele b) și c) se recomandă instruirea cu scoatere din producție.

O bună parte din volumul de ore menționat se afectează aplicațiilor practice.

Pentru cursurile din grupa c) există în prezent programe de calcul pe un calculator, care simulează desfășurarea lucrărilor și pune pe cursanți în diferite situații speciale care pot apărea în practică. Sub supravegherea instructorilor, cursanții sînt obligați să ia decizii care se transmit apoi calculatorului.

Scanned with OKEN Scanner

5. AVANTAJELE METODEI DRUMULUI CRITIC

1) Prin separarea netă a analizei succesiunii operațiilor, de analiza duratelor și a termenelor, metoda drumului critic asigură muncii de planificare mai multă profunzime. Programul rezultă mai amănunțit, mai corect.

2) Din același motiv, metoda drumului critic permite o participare mai eficientă a proiectantului la programarea construcțiilor. Proiectantul nu cunoaște suficient condițiile organizatorice (condiționări organizatorice, resurse disponibile, durate) dar cunoaște foarte bine condiționările logice și tehnologice și deci poate alcătui graful conținînd aceste legături cu mult mai bine decît executantul, care, la început, nu cunoaște suficient de bine proiectul.

3) Din același motiv, pentru lucrările de același tip (de exemplu locuințe), se poate studia o singură dată, cu mare grijă, graful de execuție conținînd legăturile logice și tehnologice. Pentru fiecare caz concret, graful tip poate fi adaptat prin introducerea condiționărilor organizatorice și a duratelor. În acest fel, partea dificilă, de concepție, a planificării este rezolvată o singură dată pentru un mare număr de situații asemănătoare, asigurîndu-se simultan calitatea și productivitatea muncii de planificare.

4) Reactualizarea programului se face prin calcule simple, cu caracter mecanic, pentru care nu este necesar personal de înaltă calificare. Calculele pot fi efectuate de calculatoare electronice, ceea ce asigură precizie și operativitate.

5) Scoaterea în evidență a operațiilor critice permite concentrarea atenției și resurselor asupra acestora.

Punerea în evidență a marjelor pentru operațiile necritice, dă programelor o mare adaptabilitate la condițiile reale care apar în timpul execuției.

6) Posibilitatea stabilirii lesnicioase și clare, fără posibilitate de echivoc a responsabilității fiecărei operații și a termenelor exacte la care fiecare responsabil trebuie să termine operațiile, are un efect mobilizator și elimină obișnuitele discuții în contradictoriu.

7) Posibilitatea calculării amănunțite și a recalculării periodice a programului de resurse creează premisele pentru asigurarea acestor resurse la momentul oportun.

8) Posibilitatea instituirii unui control operativ și obiectiv asupra mersului producției și a centralizării rapide a informațiilor.

9) Posibilitatea optimizării programului după diferite criterii și îndeosebi după criteriul costului, al duratei, al folosirii continue a resurselor.

Scanned with OKEN Scanner

PARTEA A TREIA

Alte probleme ale cercetării operaționale

Scanned with OKEN Scanner

XIII

GENERALITĂȚI

Organizarea rațională a producției unei întreprinderi de construcții pune conducătorului acesteia probleme variate, dar care pot fi grupate în cîteva modele mai importante:

1) Întreprinderea posedă n mijloace de producție (mașini, utilaje, forțe de muncă de diferite specialități) și folosește în procesul de producție m sortimente de materiale și materii prime.

Fiecare mijloc de producție i consumă pentru prelucrarea acestor materiale timpii a_{i_1}, a_{i_2}, a_{i_3}, ..., a_{im}, pe unitatea de măsură a cantității din materialul respectiv.

Dacă timpul total disponibil al mijlocului de producție considerat este t_i, cantitățile X_1, X_2, X_3, ..., X_m din materialele acestea vor putea fi prelucrate cu mijlocul de producție i numai dacă

$$a_{i_1}X_1+a_{i_2}X_2+a_{i_3}X_3+.....+a_{im}X_m\leqslant t_i. \qquad \text{(XIII.1)}$$

Bineînțeles, se pot scrie n asemenea relații liniare, cîte una pentru fiecare mijloc de producție.

Un sistem de valori X_1, X_2, ..., X_m care satisfac toate cele n relații de tipul (XIII.1) constituie un *program de lucru* al întreprinderii.

Problema aceasta admite o infinitate de soluții. Dintre toate programele posibile interesează însă doar acelea care ne conduc la realizarea unor condiții particulare de optimizare dorite. O asemenea condiție de optimizare poate fi de exemplu realizarea beneficiului maxim sau a unui volum global de producție maxim, a unor pierderi minime etc.

Condiția aceasta poate fi scrisă sub forma:

$$F=c_1X_1+c_2X_2+....+c_mX_m. \qquad \text{(XIII.2)}$$

Scanned with OKEN Scanner

Prin aceasta ne-am propus a căuta din mulțimea tuturor programelor posibile pe acela care face optimă funcția definită prin relația (XIII.2). Această problemă este cunoscută sub numele de *programare liniară* deoarece relațiile de tipul (XIII.1) sînt relații liniare care definesc restricțiile la care sînt supuse variabilele $X_1, X_2, \ldots, X_m$, iar funcția care indică criteriile de optimizare, numită de obicei *funcție economică*, este definită tot printr-o relație liniară (XIII.2).

În acest model matematic general se încadrează problemele de amestec, de afectare, de planificare, precum și numeroase alte probleme legate de organizarea științifică a producției.

2) În procesul de producție, mijloacele disponibile nu lucrează independent ci sînt legate prin relații, care le condiționează în anumită măsură timpul efectiv de lucru.

Astfel, un excavator lucrînd la săparea unei incinte este legat de un alt mijloc de producție, anume autobasculantele care i-au fost afectate pentru evacuarea pămîntului. Deoarece unei autobasculante îi este necesar un timp anumit pentru transportul pămîntului, descărcare și revenire la punctul de lucru, pentru utilizarea rațională a excavatorului sînt afectate de obicei mai multe autobasculante. Cum realizarea acestor timpi de către diferitele mașini se face cu o anumită probabilitate, rezultă posibilitatea ca în anumite împrejurări excavatorul să aștepte sosirea unei basculante sau tot atît de bine, basculantele să formeze un fir de așteptare (coadă) la excavator, pînă să le vină rîndul la încărcare.

Care este soluția optimă, cu alte cuvinte care este numărul de autobasculante care trebuie afectate pentru a avea un cost minim pe 1 m^3 de pămînt săpat?

Aceasta este o problemă în care apar *fenomene de așteptare*. Rezolvarea acestui tip de probleme permite o dimensionare științifică a lanțurilor în producție.

3) În realizarea obiectivelor se folosesc întotdeauna resurse materiale.

Acumularea la obiectul care se execută a tuturor resurselor necesare realizării lui ar conduce însă la aglomerări mari, la necesitatea unor spații de depozitare exagerate, la cheltuieli de depozitare mari, imobilizări de fonduri etc.

Totuși, pentru asigurarea unui ritm normal al producției, sînt necesare stocurile de materiale.

Problemele de stocuri reprezintă un caz particular al problemelor de așteptare.

Care este nivelul optim al stocurilor? Cînd și cum trebuie făcută reaprovizionarea? Cum trebuie să acționeze conducerea unei întreprinderi pentru reducerea cheltuielilor de întreținere a stocurilor? Care este cantitatea de materiale cu care trebuie completat stocul?

Toate acestea își găsesc răspunsul în capitolele care tratează problemele de stocuri.

Scanned with OKEN Scanner

XIV

PROBLEME DE PROGRAMARE LINIARĂ ÎN ORGANIZAREA ŞTIINŢIFICĂ A PRODUCŢIEI

1. PROGRAMAREA PRODUCŢIEI PE SORTIMENTE

Intervine deseori în practica de conducere a întreprinderilor problema stabilirii celui mai avantajos plan de producţie, ţinînd seama de capacităţile de producţie pentru fiecare sortiment în parte şi de comenzile primite.

De exemplu, un atelier de prefabricate are posibilitatea de a produce 15 000 m³ de prefabricate lunar, avînd ca sortimente prefabricatele pentru locuinţe şi tuburi prefabricate pentru canalizare.

Atelierul a primit pentru anul în curs comenzi care depăşesc capacitatea sa de producţie, şi anume se solicită lunar:

10 500 m³ prefabricate pentru locuinţe;

8 200 m³ prefabricate pentru canalizare.

Deoarece atelierul nu are posibilitatea de a stoca produsele, comenzile primite limitează producţia lunară la maximum 10 500 m³ prefabricate pentru locuinţe şi respectiv la maximum 8 200 m³ prefabricate pentru canalizare.

Conducerea atelierului îşi pune problema stabilirii programului de lucrări astfel ca să se înregistreze beneficiile maxime.

În cazurile în care conducerea unităţii nu are dreptul de a-şi alege singură sortimentele, aceeaşi problemă se pune de data aceasta forului tutelar care stabileşte planul de producţie.

Serviciul de contabilitate al întreprinderii a calculat că, în condiţii normale de lucru, atelierul poate realiza:

10,70 lei beneficiu la 1 m³ prefabricat pentru locuinţe;

21,20 lei beneficiu la 1 m³ prafabricat pentru canalizare.

Diferenţele de beneficiu între sortimente nu rezultă din speculaţii, ci din eficienţa mai mare a prefabricatelor pentru canalizare, care se realizează cu un consum de manoperă redus.

Dacă se notează cu X_1 cantitatea care urmează a se produce lunar din sortimentul prefabricate pentru locuinţe, respectiv cu X_2 cantitatea din sortimentul prefabricate pentru canalizare, se pot scrie următoarele relaţii care exprimă restricţiile la care sînt supuse variabilele X_1 şi X_2:

— capacitatea de producţie a atelierului este de 15 000 m³ pe lună:

$$X_1+X_2\leqslant 15\,000;$$

— atelierul nu dispune de spaţii pentru depozitare spre a construi stocuri:

$$X_1\leqslant 10\,500$$
$$X_2\leqslant 8\,200;$$

— valorile variabilelor X_1 și X_2 nu pot lua decît valori pozitive sau nule, acestea neavînd sens ca numere negative:

$$X_1 \geqslant 0$$
$$X_2 \geqslant 0;$$

— obiectivul urmărit de conducerea atelierului este de a obține beneficiul maxim, adică să maximizeze funcția economică definită astfel:

$$F = 10{,}70\, X_1 + 21{,}20\, X_2.$$

Exprimată concis, problema revine la găsirea acelui program (adică a valorilor variabilelor X_1 și X_2) care satisface restricțiile

$$\begin{aligned} &X_1 + X_2 \leqslant 15\,000 \\ &X_1 \leqslant 10\,500 \\ &X_2 \leqslant 8\,200 \\ &X_1 \geqslant 0 \\ &X_2 \geqslant 0 \end{aligned} \qquad \text{(XIV.1)}$$

și care face maximă funcția economică

$$F = 10{,}70\, X_1 + 21{,}20\, X_2. \qquad \text{(XIV.2)}$$

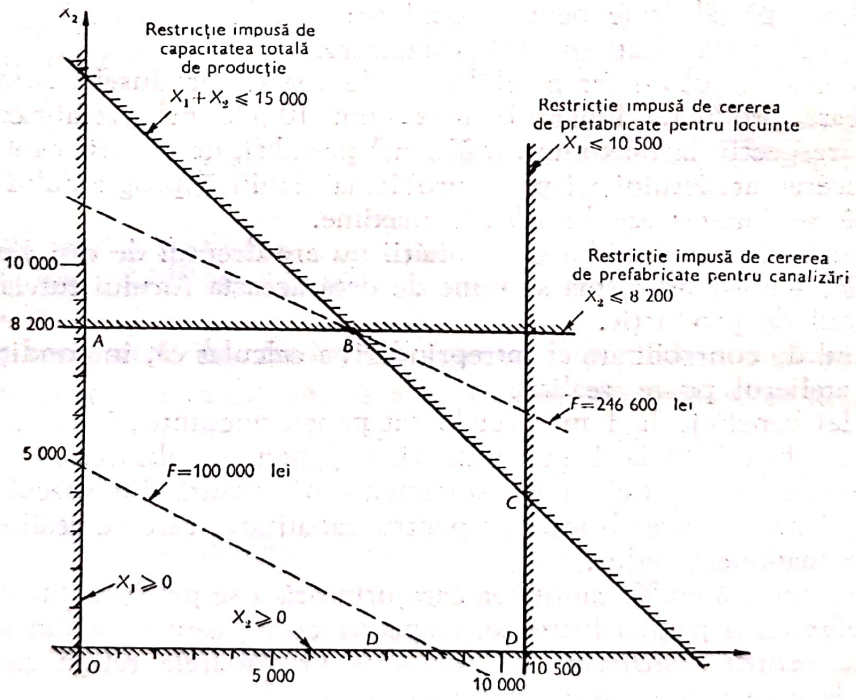


Fig. XIV.1

Remarcînd că în relațiile (XIV.1) și (XIV.2) intervin numai funcții liniare de variabilele X_1 și X_2, rezultă că problema astfel definită este o programare liniară.

Se observă că rezolvarea se poate obține cu ușurință grafic prin interpretarea geometrică a relațiilor (XIV.1) și (XIV.2).

Scanned with OKEN Scanner

Se consideră planul definit de axele de coordonate OX_1 și OX_2. În acest plan, inegalitățile (XIV.1) definesc semiplanuri în care punctele satisfac aceste restricții. Există un domeniu $OABCD$ în interiorul căruia orice punct definit prin coordonatele sale X_1 și X_2 satisface simultan toate inegalitățile (XIV.1), deci constituie o soluție posibilă a problemei (fig. XIV.1).

Soluția optimă este aceea care face maximă funcția economică F. Relația (XIV.2) definește o familie de drepte paralele, valoarea funcției crescînd o dată cu îndepărtarea dreptei de orginea axelor X_1OX_2. Punctul extrem care maximizează funcția economică este situat pe conturul domeniului $OABCD$ și este chiar punctul B de coordonate $X_1=6\,800$ și $X_2=8\,200$ care determină maximul funcției economice.

$$F=10{,}70\times 6\,800+21{,}20\times 8\,200=246\,600 \text{ lei.}$$

Prin aceasta, conducerea atelierului a determinat programul de lucru care aduce beneficiul maxim. Acest program prevede producerea lunară a 6 800 m^3 prefabricate pentru locuințe și 8 200 m^3 prefabricate pentru canalizare, realizînd în acest fel un beneficiu lunar de 246 600 lei.

2. PROGRAMARE LINIARĂ

a. GENERALITĂȚI

Este evident că rezolvarea problemelor de programare liniară prin metode grafice se oprește la cazul a trei variabile, care pot fi reprezentate în spațiul tridimensional. Peste acest număr de variabile, metoda grafică pierde caracterul său intuitiv și de aceea se folosesc metode numerice.

Enunțul general al unei probleme de programare liniară poate fi formulat astfel:

Să se determine valorile nenegative ale unor variabile $X_1, X_2, X_3, \ldots, X_n$, care fac optimă (maximă sau minimă) *funcția economică*

$$F=c_1X_1+c_2X_2+\cdots+c_nX_n \qquad \text{(XIV.3)}$$

satisfăcînd totodată relațiile

$$\begin{aligned} &a_{11}X_1+a_{12}X_2+\cdots+a_{1n}X_n\leqslant b_1 \\ &a_{21}X_1+a_{22}X_2+\cdots+a_{2n}X_n\leqslant b_2 \\ &\vdots \\ &a_{m1}X_1+a_{m2}X_2+\cdots+a_{mn}X_n\leqslant b_m \end{aligned} \qquad \text{(XIV.4)}$$

denumite *restricții*.

Condiția de nenegativitate a soluțiilor problemei poate fi scrisă

$$X_i\geqslant 0 \quad (i=1,\ 2,\ 3,\ \ldots,\ n). \qquad \text{(XIV.5)}$$

Pentru rezolvarea problemelor de programare liniară s-au elaborat mai multe metode a căror fundamentare matematică este expusă în tratatele de specialitate.

Scanned with OKEN Scanner

b. METODA SIMPLEX

Datorată lui G. B. Dantzig, metoda simplex permite rezolvarea programelor liniare prin iterații, atunci cînd se cunoaște o soluție a acestora numită soluție de bază.

În cele ce urmează nu se vor da demonstrațiile matematice ale procedeului și nici condițiile de existență a soluțiilor, pentru care se recomandă lectura tratatelor de specialitate.

Rezolvarea unui program liniar prin metoda simplex comportă mai multe etape:

Transformarea sistemului de inecuații în sistem de ecuații. Sistemul (XIV.4) poate fi transformat într-un sistem de ecuații dacă se introduce cîte o variabilă suplimentară în fiecare inegalitate.

Prin aceasta sistemul (XIV.4) va avea în afară de cele n *variabile principale*, un număr de m *variabile suplimentare*:

$$\begin{aligned}
&a_{11}X_1+a_{12}X_2+a_{13}X_3+\cdots+a_{1n}X_n+X_{n+1}=b_1\\
&a_{21}X_1+a_{22}X_2+a_{23}X_3+\cdots+a_{2n}X_n+X_{n+2}=b_2\\
&\vdots\\
&a_{i1}X_1+a_{i2}X_2+a_{i3}X_3+\cdots+a_{in}X_n..+X_{n+i}=b_i\\
&\vdots\\
&a_{m1}X_1+a_{m2}X_2+a_{m3}X_3+\cdots+a_{mn}X_n+X_{n+m}=b_m.
\end{aligned} \qquad \text{(XIV.6)}$$

Pentru rezolvarea lesnicioasă a unui program liniar prin metoda simplex, în această fază coeficienții necunoscutelor din ecuațiile care definesc restricțiile sînt transcriși într-un tabel care cuprinde de asemenea coeficienții funcției economice (tabelul XIV.1).

Tabelul XIV.1

c_1	c_2	$\cdots$	c_j	$\cdots$	c_n	0	0	$\cdots$	0	
X_1	X_2	$\cdots$	X_j	$\cdots$	X_n	X_{n+1}	X_{n+2}	$\cdots$	X_{n+m}	
a_{11}	a_{12}	$\cdots$	a_{1j}	$\cdots$	a_{1n}	1	0	$\cdots$	0	b_1
a_{21}	a_{22}	$\cdots$	a_{2j}	$\cdots$	a_{2n}	0	1	$\cdots$	0	b_2
$\vdots$										$\vdots$
$\vdots$										$\vdots$
a_{k1}	a_{k2}	$\cdots$	a_{kj}	$\cdots$	a_{kn}	0	0	1	0	b_k
$\vdots$										$\vdots$
$\vdots$										$\vdots$
a_{m1}	a_{m2}	$\cdots$	a_{mj}	$\cdots$	a_{mn}	0	0	$\cdots$	1	b_m

Determinarea unei soluții de bază. Avînd în vedere sensul inegalităților din sistemul (XIV.4) este evident că prin transformarea (XIV.6) toate variabilele suplimentare introduse sînt nenegative.

În acest caz, o soluție de bază poate fi următoarea:

$$\begin{aligned} &X_i = 0 \qquad (i = 1, 2, \ldots, n) \\ &X_{n+1} = b_1 \\ &X_{n+2} = b_2 \\ &\vdots \\ &X_{n+j} = b_j \\ &\vdots \\ &X_{n+m} = b_m. \end{aligned} \tag{XIV.7}$$

Se observă că în soluția de bază astfel aleasă, toate cele n variabile principale sînt nule, în timp ce variabilele suplimentare iau valorile termenilor liberi.

O asemenea soluție de bază face nulă funcția economică (XIV.3).

Soluția de bază se înscrie într-o coloană care se atașază în stînga tabelului XIV.1.

Tabelul simplex va arăta după parcurgerea acestei etape ca tabelul XIV.2.

Tabelul XIV.2

		c_1	c_2	$\cdots$	c_j	$\cdots$	c_n	0	0	$\cdots$	0	
		X_1	X_2	$\cdots$	X_j	$\cdots$	X_n	X_{n+1}	X_{n+2}	$\cdots$	X_{n+m}	
	X_{n+1}	a_{11}	a_{12}	$\cdots$	a_{1j}	$\cdots$	a_{1n}	1	0	$\cdots$	0	b_1
	X_{n+2}	a_{21}	a_{22}	$\cdots$	a_{2j}	$\cdots$	a_{2n}	0	1	$\cdots$	0	b_2
	$\vdots$	$\vdots$										$\vdots$
	X_{n+j}	a_{j1}	a_{j2}	$\cdots$	a_{jj}	$\cdots$	a_{jn}	0	0	1	0	b_j
←	X_{n+k}	a_{k1}	a_{k2}	$\cdots$	a_{kj}	$\cdots$	a_{kn}	0	0	1	0	b_k
	$\vdots$	$\vdots$										$\vdots$
	$\vdots$	$\vdots$										$\vdots$
	X_{n+m}	a_{m1}	a_{m2}	$\cdots$	a_{mj}	$\cdots$	a_{mn}	0	0	$\cdots$	1	b_m

Ameliorarea soluției de bază. Pentru îmbunătățirea soluției de bază va trebui să se modifice programul astfel încît valoarea funcției economice să crească. Procedeul se va repeta pînă la obținerea maximului acestei funcții. Cînd func-

ția economică se cere a fi minimizată, se poate transforma sistemul într-o problemă de maxim, înmulțind cu -1 funcția economică.

Deoarece valoarea funcției economice determinată de soluția de bază este nulă, se obține o creștere a valorii acestei funcții dacă se introduce o variabilă principală în locul unei variabile suplimentare.

În acest fel, o iterație simplex cuprinde:

— determinarea variabilei care se introduce în soluția de bază;
— determinarea variabilei care se scoate din soluția de bază;
— transformarea tabloului simplex.

Pentru determinarea variabilei care se introduce în soluția de bază, se cercetează relația (XIV.3) și se alege acea variabilă căreia îi corespunde cel mai mare coeficient în funcția economică.

$$\max c_i = c_j \qquad (i=1,\ 2,\ \ldots,\ n). \tag{XIV.8}$$

Variabila X_j va intra în soluția de bază.

Pentru determinarea variabilei care se scoate din soluție, se observă că trebuie aleasă acea ecuație în care, prin anularea acestei variabile, să rezulte o valoare maximă pentru variabila care se introduce. Fie k indicele ecuației în care se presupune că se îndeplinește această condiție. Dacă variabila X_{n+k} se scoate din soluția de bază și se introduce variabila X_j, ecuația k devine

$$a_{kj} \cdot X_j = b_k \tag{XIV.9}$$

de unde:

$$X_j = \frac{b_k}{a_{kj}}. \tag{XIV.10}$$

În concluzie, pentru determinarea variabilei ce se scoate din soluția de bază, care se găsește înscrisă pe coloana din stînga tabelului XIV.2, se calculează rapoartele $\frac{b_k}{a_{kj}}$ pentru $k=1,\ 2,\ \ldots,\ m$, alegîndu-se maximul. Se iau în considerație numai acele rapoarte a căror valoare este pozitivă.

Prin scoaterea din soluția de bază a variabilei X_{n+k} și introducerea variabilei X_j, soluția îmbunătățită devine:

$$X_i = 0 \qquad (i=1,\ 2,\ \ldots,\ n;\ i \neq j) \tag{XIV.11}$$

$$X_{n+k} = 0 \tag{XIV.12}$$

$$X_j = \frac{b_k}{a_{kj}} \tag{XIV.13}$$

$$\begin{aligned} a_{1j}X_j + X_{n+1} &= b_1 \\ a_{2j}X_j + X_{n+2} &= b_2 \\ &\vdots \\ a_{mj}X_j + X_{n+m} &= b_m. \end{aligned} \tag{XIV.14}$$

Sau, înlocuind pe (XIV.13) în (XIV.14), se obține:

$$\begin{aligned} &X_i=0 \qquad (i=1,\ 2,\ \ldots,\ n;\ i\neq j)\\ &X_{n+k}=0\\ &X_j=\frac{b_k}{a_{kj}}\\ &X_{n+1}=b_1-a_{1j}\frac{b_k}{a_{kj}}\\ &\vdots\\ &X_{n+m}=b_m-a_{mj}\frac{b_k}{a_{kj}}. \end{aligned} \tag{XIV.15}$$

Funcția economică (XIV.3) ia acum valoarea:

$$F=c_j\frac{b_k}{a_{kj}}. \tag{XIV.16}$$

Pentru calcularea efectivă a acestor mofdificări, tabelului XIV.2 i se mai adaugă o coloană în care se înscriu raporturile $\frac{b_k}{a_{kj}}$ pentru $k=1, 2, \ldots, m$.

Observînd că ecuația de rang k se reduce la o formă în care variabila X_j apare explicit, se elimină această variabilă din restul ecuațiilor sistemului.

Să considerăm o ecuație de rang oarecare i și să eliminăm variabila X_j printr-o transformare liniară a acesteia cu ajutorul ecuației de rang k.

$$a_{i1}X_1+a_{i2}X_2+\cdots+a_{ij}X_j+\cdots+a_{in}X_n+X_{n+1}=b_i \tag{XIV.17}$$

$$a_{k1}X_1+a_{k2}X_2+\cdots+a_{kj}X_j+\cdots+a_{kn}X_n+X_{n+k}=b_k. \tag{XIV.18}$$

Dacă multiplicăm relația (XIV.18) cu $\frac{a_{ij}}{a_{kj}}$ și o scădem din relația (XIV.17) vom obține transformata ecuației de rang i:

$$\left(a_{i1}-\frac{a_{k1}\cdot a_{ij}}{a_{kj}}\right)X_1+\left(a_{i2}-\frac{a_{k2}\cdot a_{ij}}{a_{kj}}\right)X_2+\cdots\left(a_{ij}-\frac{a_{kj}\cdot a_{ij}}{a_{kj}}\right)X_j+\cdots+$$

$$+\left(a_{in}-\frac{a_{kn}\cdot a_{ij}}{a_{kj}}\right)X_n+\cdots+\left(1-\frac{0\cdot a_{ij}}{a_{kj}}\right)X_{n+1}+\left(0-\frac{1\cdot a_{ij}}{a_{kj}}\right)X_{n+k}=b_i-b_k\frac{a_{ij}}{a_{kj}}. \tag{XIV.17 a}$$

Observăm că prin această transformare, coeficienții variabilei X_j în toate ecuațiile de rang $i\neq k$ au devenit nuli.

Asupra ecuației (XIV.18) efectuăm împărțirea tuturor coeficienților cu a_{kj}, obținînd relația (XIV.18 a):

$$\frac{a_{k1}}{a_{kj}}X_1+\frac{a_{k2}}{a_{kj}}X_2+\cdots+1\cdot X_j+\cdots+\frac{a_{kn}}{a_{kj}}X_n+\frac{1}{a_{kj}}X_{n+k}=\frac{b_k}{a_{kj}}. \tag{XIV.18 a}$$

Evident, vom aplica aceeași transformare și funcției economice, ai cărei coeficienți vor deveni:

$$\left(c_1-c_j\frac{a_{k1}}{a_{kj}}\right)X_1+\left(c_2-c_j\frac{a_{k2}}{a_{kj}}\right)X_2+\cdots+\left(c_j-c_j\frac{a_{kj}}{a_{kj}}\right)X_j+\cdots\left(c_n-c_j\frac{a_{kn}}{a_{kj}}\right)X_n+$$

$$+\left(0-c_j\frac{1}{a_{kj}}\right)X_{n+}=F'. \qquad \text{(XIV.19)}$$

Și din această transformare, coeficientul variabilei X_j devine nul.

Transformările liniare menționate sînt ușor de efectuat. Observăm că, dacă din soluția de bază iese variabila X_{n+k} și intră variabila X_j, în expresiile de transformare intră invariabil coeficientul a_{kj} al variabilei X_j din ecuația de rang k. Formulele generale pentru transformarea sistemului (XIV.8) sînt:

$$a'_{il}=a_{il}-\frac{a_{kl}\cdot a_{ij}}{a_{kj}} \qquad \text{(XIV.20)}$$

$$b'_i=b_i-b_k\frac{a_{ij}}{a_{kj}}$$

iar coeficienții funcției economice

$$c'_l=c_l-c_j\frac{a_{kl}}{a_{kj}}. \qquad \text{(XIV.21)}$$

Coeficientul a_{kj} poartă numele de *pivot* deoarece în transformările efectuate în cursul unei iterații acesta apare întotdeauna.

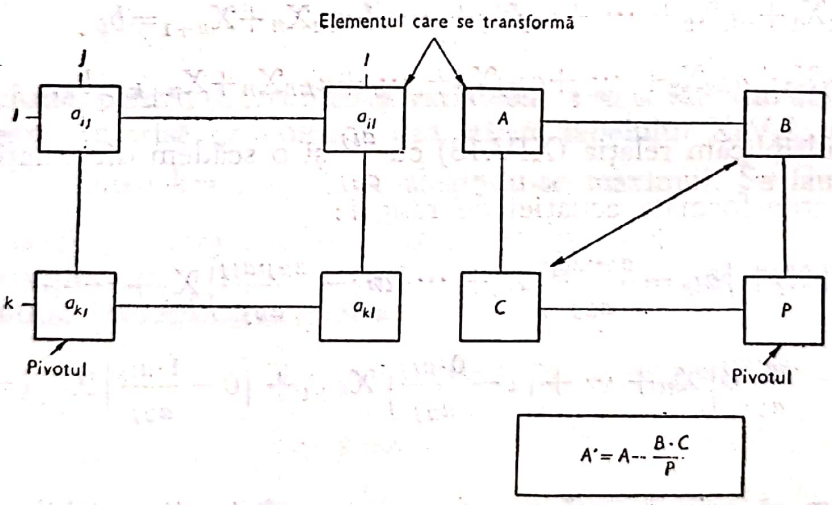


Fig. XIV.2

Înainte de a trece la transformarea tabelului XIV.2 prin procedeul expus mai înainte, observăm că relațiile (XIV.20) și (XIV.21) care definesc transformarea liniară pot fi condensate într-o regulă intuitivă numită în literatura de specialitate *regula dreptunghiului* (fig. XIV.2).

Considerăm că introducem în soluţia de bază variabila X_j şi scoatem variabila X_{n+k} definită de poziţia k în vectorul soluţiilor.

Pivotul transformării este elementul a_{kj} de la intersecţia liniei k cu coloana j. Tranfsormarea liniară a unui element oarecare a_{il} se face astfel:

— luăm în consideraţie dreptunghiul care se formează între linia k şi coloana j ale pivotului pe de o parte, cu linia i şi coloana l ale elementului care se transformă, astfel încît pivotul şi elementul respectiv se găsesc pe una din diagonale;

— cealaltă diagonală conţine elementele a_{kl} şi a_{ij} al căror produs apare în relaţia (XIV.20);

— elementul transformat se obţine scăzînd din valoarea iniţială a acestuia, produsul elementelor de pe cealaltă diagonală împărţite la valoarea elementului pivot.

Observînd că relaţia (XIV.21) are o structură identică cu (XIV.20), vom generaliza aplicarea regulii dreptunghiului la toate elementele tabelului simplex notînd cu:

— A elementul care se transformă;

— P elementul pivot;

— B şi C elementele situate pe cealaltă diagonală a dreptunghiului.

Elementul transformat A' se obţine din relaţia:

$$A' = A - \frac{B \cdot C}{P}. \qquad \text{(XIV.22)}$$

Prin acest procedeu transformăm tabelul XIV.2, scoţînd din vectorul soluţiei de bază scris în prima coloană, variabila X_{n+k} şi înlocuind-o cu variabila X_j. Elementele tabelului vor fi supuse la transformarea simplex cu ajutorul regulii dreptunghiului. Valorile noi ale variabilelor din soluţia îmbunătăţită, obţinute prin aplicarea transformării asupra soluţiei iniţiale scrisă în ultima coloană a tabelului XIV.2, vor fi scrise într-o nouă coloană care se ataşază tabelului.

Structura tabelului XIV.3 astfel obţinut este similară cu aceea a tabelului precedent.

Iterări. Prin acelaşi procedeu prin care s-a dedus tabelul XIV.3 din tabelul XIV.2, expus detaliat în paragraful precedent, vom aduce îmbunătăţiri succesive soluţiei, pînă în momentul în care toţi coeficienţii funcţiei economice transformate c' sînt negativi.

În acel moment soluţia optimă a programului liniar dat este obţinută dînd variabilelor înscrise în prima coloană, valorile obţinute în ultima coloană.

Toate celelalte variabile, care nu se găsesc înscrise în prima coloană, se vor considera nule, ele nefăcînd parte din soluţia optimă.

Exemplu de calcul cu algoritmul simplex: Pentru executarea unor betoane speciale, laboratorul a prescris ca agregatele să aibă compoziţia şi granulaţia următoare:

— nisip cuarţos < 3 mm, maximum 29%;
— piatră concasată fracţiunea 3— 7 mm, maximum 28%;
— piatră concasată fracţiunea 7—15 mm, maximum 55%.

Staţia de betoane dispune de patru surse de aprovizionare cu agregate, care livrează următoarele compoziţii granulometrice:

Tabelul XIV.3

		c_1'	c_2'	$\cdots$	0	$\cdots$	c_n'	c_{n+1}'	c_{n+2}'	$\cdots$	c_{n+m}'			
		X_1	X_2	$\cdots$	X_j	$\cdots$	X_n	X_{n+1}	X_{n+2}	$\cdots$	X_{n+m}			
X_{n+1}		a_{11}'	a_{12}'	$\cdots$	0	$\cdots$	a_{1n}'	$a_{1,n+1}'$	$a_{1,n+2}'$	$\cdots$	$a_{1,n+m}'$	b_1	$\frac{b_1}{a_{1j}}$	b_1'
X_{n+2}		a_{21}'	a_{22}'	$\cdots$	0	$\cdots$	a_{2n}'	$a_{2,n+1}'$	$a_{2,n+2}'$	$\cdots$	$a_{2,n+m}'$	b_2	$\frac{b_2}{a_{2j}}$	b_2'
$\vdots$					0							$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
X_{n+}		$a_{j,1}'$	$a_{j,2}'$	$\cdots$	0	$\cdots$	a_{jn}'	$a_{j,n+1}'$	$a_{j,n+2}'$	$\cdots$	$a_{j,n+m}'$	b_j	$\frac{b_j}{a_{jj}}$	b_j'
X_{n+k} ←	X_j	$\frac{a_{k1}}{a_{kj}}$	$\frac{a_{k2}}{a_{kj}}$	$\cdots$	1	$\cdots$	$\frac{a_{kn}}{a_{kj}}$	0	0	$\frac{1}{a_{kj}}$	0	b_k	$\frac{b_k}{a_{kj}}$	$\frac{b_k}{a_{kj}}$
$\vdots$					0									
$\vdots$					0									
X_{n+m}		a_{m1}'	a_{m2}'	$\cdots$	0	$\cdots$	a_{mn}'	$a_{m,n+1}'$	$a_{m,n+2}$	$\cdots$	$a_{m,n+m}'$	b_m	$\frac{b_m}{a_{mj}}$	b_m'

Cariera A. Nisip cuarțos avînd compoziția granulometrică:

— fracțiunea < 3 mm, 93%;
— fracțiunea 3— 7 mm, 7%.

Cariera B. Piatră concasată avînd compoziția granulometrică:

— fracțiunea < 3 mm, 12%;
— fracțiunea 3— 7 mm, 16%;
— fracțiunea 7—15 mm, 72%.

Cariera C. Piatră concasată monogranulară, fracțiunea 3—7 mm.

Cariera D. Piatră concasată avînd compoziția granulometrică:

— fracțiunea 3— 7 mm, 17%;
— fracțiunea 7—15 mm, 83%.

Din diferențele între prețurile de deviz și prețurile reale de cumpărare ale agregatelor, stația de betoane poate realiza aprovizionînd de la aceste cariere următoarele beneficii pe unitatea de produs aprovizionat:

— de la cariera *A* beneficiu 20 lei/m^3;
— de la cariera *B* beneficiu 14 lei/m^3;
— de la cariera *C* beneficiu 2 lei/m^3;
— de la cariera *D* beneficiu 11 lei/m^3.

Avînd în vedere cele arătate, vom scrie că, în conformitate cu recomandările laboratorului:

— fracțiunea < 3 mm nu trebuie să depășească 29%;
— fracțiunea 3— 7 mm nu trebuie să depășească 28%;
— fracțiunea 7—15 mm nu trebuie să depășească 55%;
— în afară de fracțiunile granulometrice menționate, nu se mai admit alte granulații.

Aceste condiții definesc restricțiile programului liniar pe care vrem să-l rezolvăm:

$$\begin{aligned} 93X_1+12X_2 &\leqslant 29\\ 7X_1+16X_2+100X_3+17X_4 &\leqslant 28\\ 72X_2+83X_4 &\leqslant 55\\ X_1+X_2+X_3+X_4 &= 1. \end{aligned}$$

Stația de betoane își propune să realizeze beneficiul maxim. Funcția economică care exprimă beneficiul se scrie:

$$F=20X_1+14X_2+2X_3+11X_4.$$

Pentru rezolvarea acestui program liniar, vom introduce variabilele suplimentare X_5, X_6, X_7 și X_8, sistemul devenind:

$$\begin{aligned} 93X_1+12X_2+X_5&=29\\ 7X_1+16X_2+100X_3+17X_4+X_6&=28\\ 72X_2+83X_4+X_7&=55\\ X_1+X_2+X_3+X_4+X_8&=1. \end{aligned}$$

Soluția de bază a acestui program este:

$$\begin{aligned} &X_1=X_2=X_3=X_4=0;\\ &X_5=29;\\ &X_6=28;\\ &X_7=55;\\ &X_8=1. \end{aligned}$$

Scanned with OKEN Scanner

Cu aceasta se întocmește primul tabel simplex.

		20	14	2	11	0	0	0	0		
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8		
←	X_5	**93**	12	0	0	1	0	0	0	29	$\frac{29}{93}$
	X_6	7	16	100	17	0	1	0	0	28	$\frac{28}{7}$
	X_7	0	72	0	83	0	0	1	0	55	
	X_8	1	1	1	1	0	0	0	1	1	$\frac{1}{1}$

Vom căuta mai întîi pe prima linie, în care sînt trecuți coeficienții funcției economice, elementul de valoare maximă spre a determina variabila care intră în soluția de bază. Aceasta este X_1.

Apoi, vom face raportul între valorile variabilelor din soluția de bază, înscrise în penultima coloană, și elementele corespunzătoare din vectorul coloană al variabilei care intră în soluție. Valoarea minimă a acestor rapoarte se găsește pe prima linie, indicînd că iese din soluția de bază variabila X_5.

Transformarea liniară a primului tabel simplex se face avînd ca pivot elementul cu cifre negre, și se obține tabelul XIV.2.

		0	11,42	2	11	—0,215	0	0	0		
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8		
	X_1	1	0,129	0	0	0,011	0	0	0	0,31	$\frac{0,31}{0,129}$
	X_6	0	15,1	100	17	—0,075	1	0	0	25,8	$\frac{25,8}{15,1}$
←	X_7	0	**72**	0	83	0	0	1	0	55	$\frac{55}{72}$
	X_8	0	0,871	1	1	—0,011	0	0	1	0,69	$\frac{0,69}{0,871}$

Un element oarecare din tabelul XIV.2 (care nu face parte din prima linie) se obține cu ajutorul regulii dreptunghiului. Astfel, elementul de la intersecția liniei a doua cu coloana a cincea va avea în tabelul XIV.2 valoarea:

$$0 - \frac{1 \times 7}{93} = -0,075.$$

Prin acelaşi procedeu, se determină în cel de-al doilea tabel simplex elementul care intră în soluţie, variabila X_2, şi elementul care iese din soluţie, variabila X_7. Obţinem un nou tabel, al treilea.

		0	0	2 ↓	—2,20	—0,215	0	—0,159	0		
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8		
	X_1	1	0	0	—0,15	—0,011	0	—0,002	0	0,211	
	X_6	0	0	100	—0,4	—0,075	1	—0,21	0	14,2	$\frac{14,2}{100}$
	X_2	0	1	0	1,15	0	0	0,014	0	0,762	
←	X_8	0	0	**1**	0	—0,011	0	—0,012	1	0,027	$\frac{0,02}{1}$

Din tabelul XIV.3 rezultă că singura variabilă care mai poate intra este X_3, deoarece coeficienţii funcţiei economice transformate au valori negative pentru celelalte variabile lese din soluţie variabila X_8 şi, prin transformarea simplex, se obţine tabelul următor, ultimul, care are toţi coeficienţii funcţiei economice negativi.

	0	0	0	—2,20	—0,193	0	—0,135	—2		
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8		
X_1	1	0	0	—0,15	0,011	0	—0,002	0	0,211	
X_6	0	0	0	—0,4	1,025	1	1	—100	12	
X_2	0	1	0	1,15	0	0	0,014	0	0,762	
X_3	0	0	**1**	0	—0,011	0	—0,012	1	0,027	

Soluţia problemei este:

$$X_1=0,211;$$
$$X_2=0,762;$$
$$X_3=0,027.$$

Tot din soluţie face parte şi variabila suplimentară $X_6=12$ care indică faptul că la fracţiunea 3—7 mm procentul economic este cu 12% mai mic decît cel maxim admisibil.

Era de aşteptat prezenţa unei variabile suplimentare în soluţia programului liniar, deoarece ultima ecuaţie a sistemului indică faptul că suma tuturor variabilelor principale, reprezentînd cantitatea de agregate aprovizionate de la fiecare din carierele respective, care intră în componenţa unui metru cub de agregate de granulozitate optimă, este egală cu 1, în timp ce suma procentelor maxime admisibile este 112% în loc de 100%. Diferenţa de 12 procente reprezintă însăşi valoarea variabilei suplimentare din soluţie.

Scanned with OKEN Scanner

Introducînd soluția în sistemul inițial obținem următoarele rezultate:

— fracțiunea <3 mm realizată prin amestecul propus este în procent de: $93 \times 0{,}211 + 12 \times 0{,}762 = 29\%$;

— fracțiunea 3—7 mm este în procent de

$$7 \times 0{,}211 + 16 \times 0{,}762 + 100 \times 0{,}027 = 16\% < 28\%;$$

diferența de 12 procente reprezintă variabila suplimentară din soluția programului;

— fracțiunea 7—15 mm este în procent de $72 \times 0{,}762 = 55\%$.

Condiția de a nu avea și alte granulații în afară de cele menționate mai înainte

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 0{,}211 + 0{,}762 + 0{,}027 + 0 = 1$$

este îndeplinită.

În această situație, funcția economică are valoarea:

$$20 \times 0{,}211 + 14 \times 0{,}762 + 2 \times 0{,}027 = 14{,}75 \text{ lei/m}^3$$

și reprezintă beneficiul care se realizează la un metru cub de agregate de către stația de betoane.

3. EXEMPLE DE PROBLEME CARE CONDUC LA PROGRAME LINIARE

a. STABILIREA STRUCTURII OPTIME A PRODUCȚIEI DE CONSTRUCȚII DE LOCUINȚE

Elaborarea planului producției construcțiilor de locuințe necesită o bună cunoaștere a condițiilor în care se va desfășura execuția. Această cunoaștere se concretizează în următoarele elemente:

— resursele (materiale, mașini și utilaje, forțe de muncă) de care dispune executantul;

— condițiile privind regimul de înălțimi, rezultate din planurile de sistematizare, avizele forurilor de directivă etc.;

— tipurile de structuri pe care executantul le poate executa cu mijloacele de care dispune;

— criteriile care vor sta la baza optimizării planului.

Problema aceasta se reduce la un program liniar în care variabilele sînt volumele de construcții pe tipuri de structuri.

Resursele și regimul de înălțimi reprezintă restricțiile care sînt impuse acestui program, iar criteriile de optimizare sînt trasate de obicei prin directivele forurilor superioare sau prin planul de stat.

Resursele. Sînt cunoscute la elaborarea planului două categorii mai importante de resurse:

— resurse proprii, constituite din mașini și utilaje existente în dotarea executantului, forță de muncă angajată de executant, întreprinderi de producție industrială din subordinea executantului care produc anumite materiale de construcții etc.;

— resurse dirijate prin planul de stat, în care sînt cuprinse materialele produse de alte întreprinderi, resursele financiare pentru sporirea mijloacelor de bază etc.

Fără cunoașterea resurselor nu se poate vorbi de un *plan optim* de producție. Practica prin care tipurile de structuri sînt alese după criterii subiective (existența proiectelor, de exemplu) iar necesarul de materiale rezultă ca o consecință

a acestei alegeri nu este o optimizare. Realizarea unui asemenea plan poate conduce la depăşirea posibilităţilor, întrucît resursele nu sînt nelimitate.

Analizînd atît resursele proprii cît şi cele dirijate prin plan, executantul va cunoaşte limita maximă a consumurilor de materiale precum şi celelalte mijloace cu care este dotat.

Cu ajutorul acestor date, se pot scrie restricţiile definite de consumurile de materiale şi de utilizarea parcului de maşini şi utilaje.

Dacă notăm cu X_i variabilele care definesc volumele de construcţii de diferite structuri (indicele $i=1, 2, \ldots, n$ fiind ataşat tipului de structură), cu a_{ij} consumurile specifice de materiale (indicele $j=1, 2, \ldots, m$ corespunde resurselor luate în consideraţie la elaborarea programului) şi cu r_j limita maximă a resursei j, vom putea scrie m relaţii liniare definind restricţiile datorate resurselor, avînd forma

$$a_{1j}X_1+a_{2j}X_2+\cdots+a_{nj}X_n\leqslant r_j. \qquad \text{(XIV.23)}$$

Regimurile de înălţimi. Condiţiile privind regimurile de înălţimi sînt date de obicei prin procente sau volume globale pentru toate tipurile de structuri folosite la acelaşi număr limită de niveluri (etaje). De obicei se dau puţine praguri de mărime în definirea regimurilor de înălţimi. Cele mai folosite sînt:

— construcţiile cu maximum 5 niveluri (parter şi patru etaje);
— construcţiile cu maximum 10 niveluri (parter şi nouă etaje);
— construcţii cu mai mult de 10 niveluri.

Din totalul celor n tipuri de structuri, o parte va fi din categoria celor cu maximum 5 niveluri, constituind submulţimea A.

O altă parte din tipurile de structuri luate în consideraţie va fi din categoria construcţiilor cu maximum 10 niveluri constituind submulţimea B.

Construcţiile cu peste 10 niveluri vor fi executate din tipurile de structuri care constituie submulţimea C.

Astfel mulţimea S a tuturor tipurilor de structuri, care se defineşte

$$S=A\cup B\cup C$$

conţine n elemente.

Condiţiile impuse de regimurile de înălţimi sînt date în volumele V_A, V_B şi V_C pe care trebuie să le realizeze programul pentru categoriile de construcţii respective.

Aceste condiţii definesc restricţiile datorite regimurilor de înălţimi care se scriu astfel

$$\begin{aligned}\sum_{p\in A} X_p&=V_A;\\ \sum_{q\in B} X_q&=V_B;\\ \sum_{r\in C} X_r&=V_C;\end{aligned} \qquad \text{(XIV.24)}$$

în care p este indicele tipurilor de structuri din categoria construcţiilor cu maximum 5 niveluri, q este indicele pentru tipurile de structuri din categoria construcţiilor cu 5 la 10 niveluri, iar r este indicele pentru construcţiile cu peste 10 niveluri.

Scanned with OKEN Scanner

Tipurile de structuri. Diferențiate după sistemul constructiv și numărul de niveluri, tipurile de structuri se realizează cu consumuri specifice de resurse diferite.

Este evident că indicii reprezentînd consumurile specifice, ca de altfel și tipurile de structuri constructive, sînt în permanentă evoluție datorită progresului tehnic în concepția și executarea construcțiilor.

În tabelele XIV 4, XIV.5 și XIV.6 se dau principalii indici de consum de materiale pentru cîteva tipuri de structuri uzuale.

Tabelul XIV.4

Indicii orientativi ai consumului de materiale pentru blocurile de locuințe cu parter și 4 etaje

Nr. crt.	Materialul	Unitatea de măsură	Indici de consum pe 1 m² arie desfășurată în structuri de tipul		
			zidărie portantă	sistem celular	panouri mari prefabricate
1	Ciment	kg	125	140	170
2	Agregate	m^3	0,610	0,620	0,690
3	Oțel-beton OL 38	kg	16,5	22,0	22,5
4	Var bulgări	kg	15	12	3
5	Cărămizi	buc.	100	50	—
6	Carton asfaltat	m^2	0,90	0,90	0,90
7	Bitum	kg	3	3	3
8	Lemn ecarisat	m^3	0,009	0,013	0,004
9	Lemn rotund	m^3	0,002	0,0025	0,0015
10	Parchet	m^2	0,49	0,53	0,55
11	Țevi construcție	kg	0,22	0,25	0,29
12	Țevi instalații	kg	1,35	1,35	1,20
13	Radiatoare fontă	kg	4,00	4,50	5,50
14	Tuburi PVC electrice	m	0,9	0,7	1,3
15	Tuburi PVC sanitare	kg	0,25	0,30	0,30
16	Conductoare Intenc	m	0,7	0,9	0,3
17	Conductoare Cu și Al	m	2,1	2,1	3,2

Cu ajutorul indicilor de consum de felul celor arătați în tabelele XIV.4, XIV.5 și XIV.6, se pot scrie restricțiile impuse programului liniar de către resurse și care au fost date la forma generală prin relația (XIV.23).

Criteriile de optimizare. În paragrafele precedente s-au dat indicații pentru alcătuirea sistemului de relații care definesc restricțiile programului.

În privința funcției economice care trebuie optimizată (maximizată sau minimizată, după cum o cer criteriile modelului), sînt numeroase posibilități de formulare.

Bineînțeles, forma generală a acestei funcții economice se păstrează aceeași

$$F=c_1X_1+c_2X_2+\cdots+c_nX_n$$

ca la toate programele liniare.

Pentru definirea coeficienților c_i, este necesară însă precizarea *criteriului* pe baza căruia optimizăm programul.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul XIV.5

Indicii orientativi ai consumului de materiale pentru blocuri de locuinţe cu parter şi nouă etaje, executate cu cofraje glisante

Nr. crt.	Materialul	Unitatea de măsură	Indici de consum pe 1 m² arie desfăşurată în structuri de tipul:		
			sistem celular	sistem fagure	sistem fagure (bloc de garsoniere)
1	Ciment	kg	168	168	168
2	Agregate	m^3	0,680	0,680	0,700
3	Oţel-beton OL 38	kg	24,0	24,5	23,0
4	Var bulgări	kg	8	8	8
5	Cărămizi	buc.	17	17	17
6	Carton asfaltat	m^2	0,45	0,45	0,45
7	Bitum	kg	1,5	1,5	1,5
8	Lemn ecarisat	m^3	0,008	0,008	0,008
9	Lemn rotund	m^3	0,002	0,002	0,002
10	Parchet	m^2	0,44	0,48	0,42
11	Ţevi construcţie	kg	0,25	0,25	0,35
12	Ţevi instalaţii	kg	1,45	1,45	1,65
13	Radiatoare fontă	kg	4,5	4,5	4,0
14	Tuburi PVC electrice	m	0,75	0,80	1,00
15	Tuburi PVC sanitare	kg	0,30	0,30	0,28
16	Conductoare Intenc	m	0,7	0,8	0,7
17	Conductoare Cu şi Al	m	2,1	2,1	3,3

Tabelul XIV.6

Indicii orientativi ai consumului de materiale pentru blocuri de locuinţe cu parter şi nouă etaje executate monolit

Nr. crt.	Materialul	Unitatea de măsură	Indici de consum pe 1 m² arie desfăşurată în structuri de tipul:		
			sistem celular	sistem fagure	sistem fagure (bloc de garsoniere)
1	Ciment	kg	140	150	160
2	Agregate	m^3	0,650	0,680	0,690
3	Oţel-beton OL 38	kg	22	23	23
4	Var bulgări	kg	12	12	10
5	Cărămizi	buc.	48	44	23
6	Carton asfaltat	m^2	0,45	0,45	0,45
7	Bitum	kg	1,5	1,5	1,5
8	Lemn ecarisat	m^3	0,012	0,012	0,014
9	Lemn rotund	m^3	0,002	0,002	0,002
10	Parchet	m^2	0,47	0,48	0,48
11	Ţevi construcţie	kg	0,22	0,22	0,35
12	Ţevi instalaţii	kg	1,45	1,45	1,65
13	Radiatoare fontă	kg	4,0	4,0	3,5
14	Tuburi PVC electrice	m	0,8	0,7	1,0
15	Tuburi PVC sanitare	kg	0,30	0,30	0,28
16	Conductoare Intenc	m	0,7	0,8	0,8
17	Conductoare Cu şi Al	m	2,3	2,3	3,3

Scanned with OKEN Scanner

Criteriile de optimizare, variate după situația economică a executantului sau a investitorului în momentul calculării planului, pot fi de exemplu:

— realizarea unui volum maxim de construcții cu aceleași fonduri (eficiența economică a investițiilor);

— minimizarea consumului unui anumit material;

— mărirea productivității muncii etc.

Stabilirea criteriilor de optimizare cere o analiză amănunțită a acelor aspecte din producția de construcții care prezintă importanță în perioada pentru care se întocmește programul. Valorile concrete ale coeficienților diferă de la o întreprindere la alta și se stabilesc prin măsurători statistice, extrapolări ale unor realizări precedente, asimilări cu întreprinderi similare etc.

b. ÎNCĂRCAREA OPTIMĂ A TREILERELOR CU PREFABRICATE

Modelul matematic. O întreprindere de prefabricate trebuie să expedieze unui șantier n tipuri de prefabricate din beton armat. Cantitatea de prefabricate din fiecare sortiment este cunoscută și se exprimă în bucăți. Se cunoaște de asemenea și greutatea pe bucată din fiecare tip de prefabricat.

Pentru transportul acestor produse, s-au pus la dispoziție treilere având o capacitate de transport cunoscută.

Se pune problema determinării programului de încărcare a treilerelor astfel încît să se utilizeze cît mai rațional capacitatea de transport disponibilă. Fie:

$A_1, A_2, A_3, \ldots, A_n$ — numărul de prefabricate care trebuie să fie expediate, pe sortimente;

$p_1, p_2, p_3, \ldots, p_n$ — greutatea unui element prefabricat;

$1, 2, 3, \ldots, n$ — indice afectat sortimentelor de prefabricate.

Se determină toate combinațiile de elemente care conduc la greutăți totale inferioare capacității de transport a treilerului. Considerăm că s-au stabilit m asemenea relații, în care vom avea îndeplinite condițiile

$$a_{i1}p_1+a_{i2}p_2+\cdots+a_{in}p_n\leqslant Q \qquad (i=1, 2, 3, \ldots, m).$$

Din fiecare aceste m relații se efectuează $X_i (i=1, 2, 3, \ldots, m)$ transporturi, verificînd condițiile

$$X_i\geqslant 0 \qquad (i=1, 2, \ldots, m).$$

Cu aceste precizări putem scrie restricțiile programului liniar a cărui optimizare ne interesează:

$$\begin{aligned}
&a_{11}X_1+a_{21}X_2+\cdots+a_{m1}X_m=A_1\\
&a_{12}X_1+a_{22}X_2+\cdots+a_{m2}X_m=A_2\\
&\quad\vdots\\
&a_{1j}X_1+a_{2j}X_2+\cdots\\
&\qquad+a_{ij}X_i+\cdots+a_{mj}X_m=A_j\\
&\quad\vdots\\
&a_{1n}X_1+a_{2n}X_2+\cdots+a_{mn}X_m=A_n.
\end{aligned}$$

Funcția economică pe care dorim să o minimizăm are forma:

$$F=X_1+X_2+\cdots+X_i+\cdots+X_m.$$

Exemple de elaborare a unui model pentru optimizarea încărcării treilerelor cu prefabricate. De la întreprinderea de prefabricate Y se expediază la șantierul Z cu treilere de 20 t următoarele prefabricate:

tipul 1: $A_1=100$ buc. $p_1=6$ t;
tipul 2: $A_2=150$ buc. $p_2=3$ t;
tipul 3: $A_3=80$ buc. $p_3=16$ t.

Se pot realiza următoarele combinații, avînd greutatea totală inferioară capacității treilerului:

$i=1$:	$3p_1$	$=18$
2:	$2p_1+2p_2$	$=18$
3:	p_1+4p_2	$=18$
4:	p_2+p_3	$=19$
5:	$2p_1$	$=12$
6:	$2p_1+p_2$	$=15$
7:	p_1+p_2	$=9$
8:	p_1+2p_2	$=12$
9:	p_1+3p_2	$=15$
10:	p_1	$=6$
11:	p_2	$=3$
12:	$2p_2$	$=6$
13:	$3p_2$	$=9$
14:	$4p_2$	$=12$
15:	$5p_2$	$=15$
16:	$6p_2$	$=18$
17:	p_3	$=16$.

Se scriu restricțiile programului liniar:

$$3X_1+2X_2+X_3+2X_5+2X_6+X_7+X_8+X_9+X_{10}=100$$
$$2X_2+4X_3+X_4+X_6+X_7+2X_8+3X_9+X_{11}+2X_{12}+3X_{13}+4X_{14}+5X_{15}+6X_{16}=150$$
$$X_4+X_{17}=80.$$

Funcția de minimizat are forma:

$$F=\sum_{i=1}^{17} X_i.$$

Rezolvarea acestui program va conduce la planul optim de încărcare a treilerelor cu prefabricate.

Se propune cititorului să rezolve singur acest exercițiu, cu ajutorul metodei simplex.

Se atrage atenția că algoritmul a fost dat pentru cazurile cînd funcția economică se maximizează, în timp ce modelul de mai înainte conduce la o problemă de minim.

Scanned with OKEN Scanner

XV

PROBLEME DE REPARTIȚIE

1. MODELUL MATEMATIC AL PROBLEMELOR DE REPARTIȚIE

Cunoscute sub denumirea de *probleme de transport*, repartițiile de produse de la unitățile producătoare la unitățile consumatoare constituie un tip particular de programe liniare. Această denumire provine de la faptul că în problemele clasice de acest tip intervenea în criteriile de optimizare, minimizarea costului global al transporturilor acestor produse.

O problemă de transport se definește de exemplu astfel:

O întreprindere trebuie să aprovizioneze cu un anumit material cele n șantiere ale sale. Acest material se află depozitat în cele m magazii ale întreprinderii de aprovizionare. În cele ce urmează, vom numi pe scurt șantierele întreprinderii de construcții *consumatori* și respectiv magaziile întreprinderii de aprovizionare *producători*. Se cunosc despre consumatori și producători următoarele date:

— cantitățile din materialul respectiv necesare consumatorilor, notate N_j ($j=1, 2, \ldots, n$);

— cantitățile din același material disponibile la producători, notate D_i ($i=1, 2, \ldots, m$);

— costurile transportului unei unități de produs de la fiecare producător la consumatori, notate c_{ij} (costul transportului de la producătorul i la consumatorul j).

Să se determine cantitățile X_{ij} care se transportă de la producătorii $i=1, 2, \ldots, m$, la consumatorii $j=1, 2, \ldots, n$ astfel încît costul total al transporturilor să fie minim.

Pentru a putea acoperi cerințele consumatorilor este necesar ca:

$$\sum_{i=1}^{m} D_i \geqslant \sum_{j=1}^{n} N_j. \tag{XV.1}$$

Din enunțul problemei rezultă următoarele ecuații de balanță:

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} = D_i; \quad (i=1, 2, \ldots, m) \tag{XV.2}$$

$$\sum_{i=1}^{m} X_{ij} = N_j; \quad (j=1, 2, \ldots, n).$$

Funcția economică de minimizat este:

$$F = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} X_{ij}. \tag{XV.3}$$

Datorită marelui număr de situații concrete care se pot rezolva ca probleme de transport, precum și a economiilor mari care se obțin pe această cale, metodele pentru calculul problemelor de transport cunosc o largă răspîndire.

2. CALCULUL PROGRAMULUI DE REPARTIZĂRI

a. DETERMINAREA UNEI SOLUȚII DE BAZĂ

Sînt cunoscute numeroase metode pentru determinarea unei soluții de bază, cum ar fi de exemplu metoda colțului nord-vest sau a diagonalei principale, metoda costului minim, metoda indicilor etc.

Dintre acestea, se va prezenta metoda costului minim care reprezintă avantajul unei simplități deosebite, conducînd totodată la o soluție de bază, apropiată de soluția optimă.

Pentru rezolvarea unei probleme de transport, relațiile (XV.1), (XV.2) și (XV.3) sînt condensate într-un tabel a cărui formă sugestivă permite desfășurarea lesnicioasă a calculelor (tabelul XV.1).

Tabelul XV.1

Sursa	Destinația: Șantierul 1	2	3	4	...	j	...	n	Disponibil la producători
Depozitul 1	c_{11}	c_{12}	c_{13}	c_{14}	...	c_{1j}	...	c_{1n}	D_1
2	c_{21}	c_{22}	c_{23}	c_{24}	...	c_{2j}	...	c_{2n}	D_2
3	c_{31}	c_{32}	c_{33}	c_{34}	...	c_{3j}	...	c_{3n}	D_3
⋮									⋮
i	c_{i1}	c_{i2}	c_{i3}	c_{i4}	...	c_{ij}	...	c_{in}	D_i
⋮									⋮
m	c_{m1}	c_{m2}	c_{m3}	c_{m}	...	c_{mj}	...	c_{mn}	D_m
Necesar la consumatori	N_1	N_2	N_3	N_4	...	N_j	...	N_n	$\sum_1^n N_i = \sum_1^m D_j$

Se ordonează mulțimea elementelor c_{ij} în ordinea crescătoare a valorilor acestora. Primul element al mulțimii astfel ordonate, fie acesta c_{kl}, este costul minim de transport.

Se analizează necesarul N_l și disponibilul D_k. Se pot ivi două situații:

— în primul caz

$$N_l \leqslant D_k \qquad \text{(XV.4)}$$

vom include în soluția de bază variabila

$$X^{\circ}_{kl}=N_l; \tag{XV.5}$$

— în cel de al doilea caz

$$N_l>D_k \tag{XV.6}$$

vom include în soluția de bază variabila

$$X^{\circ}_{kl}=D_k. \tag{XV.7}$$

Diferența între necesarul consumatorului l și cantitatea acoperită prin valoarea X_{kl} inclusă conform relației (XV.7) în soluția de bază

$$N'_l=N_l-X^{\circ}_{kl} \tag{XV.8}$$

urmează a se acoperi ulterior de la alt producător, indicat de costul următor ca valoare de pe coloana l.

Se trece apoi la următorul element ca mărime din mulțimea ordonată a costurilor c_{ij} ale transporturilor și se include în soluția de bază o altă variabilă.

Procedeul se repetă pînă în momentul cînd necesarul tuturor consumatorilor a fost acoperit.

Soluția de bază astfel obținută este sensibil apropiată de soluția optimă.

b. ALGORITMUL STEPPING-STONE PENTRU OPTIMIZAREA SOLUȚIEI DE BAZĂ

Pentru optimizarea soluției de bază, se pornește de la observația că o modificare adusă prin micșorarea cu o unitate a unei variabile din soluția de bază, dezechilibrează situația de pe linia și coloana respectivă. Pentru echilibrarea liniei trebuie încărcat cu o unitate un alt element de pe linia respectivă, și similar, pentru echilibrarea coloanei trebuie încărcat cu o unitate și un alt element de pe coloana respectivă. Această modificare dezechilibrează coloana, respectiv linia pe care sînt elementele noi alese. La intersecția acestora se găsește elementul care prin reducere cu o unitate, readuce echilibrul soluției (fig. XV.1).

Asupra funcției economice, această modificare produce o variație egală cu:

$$\underset{(ij-kl)}{\Delta F}=-c_{ij}+c_{il}-c_{kl}+c_{kj}. \tag{XV.9}$$

Este evident că nu putem efectua asemenea modificări decît în cazul cînd ambele elemente care se diminuează, situate pe una din diagonalele dreptunghiului format, există în soluția de bază.

Se analizează toate modificările unitare posibile de efectuat avînd ca pivot elementul (i, j) din soluția de bază și se reține aceea pentru care variația costului calculată cu relația (XV.9) este în același timp *negativă* și *minimă*.

Cel mai favorabil efect se obține atunci cînd se diminuează pivotul cît mai mult posibil. Astfel, cînd

$$X_{ij}>X_{kl}$$

participă la modificare o cantitate egală cu X_{kl}.

Dacă

$$X_{ij} < X_{kl}$$

modificarea se face cu cantitatea X_{ij}.

Se reia procedeul, alegînd ca pivot alt element din soluția de bază. Calculul se oprește atunci cînd toate variațiile de cost ΔF sînt pozitive sau nule.

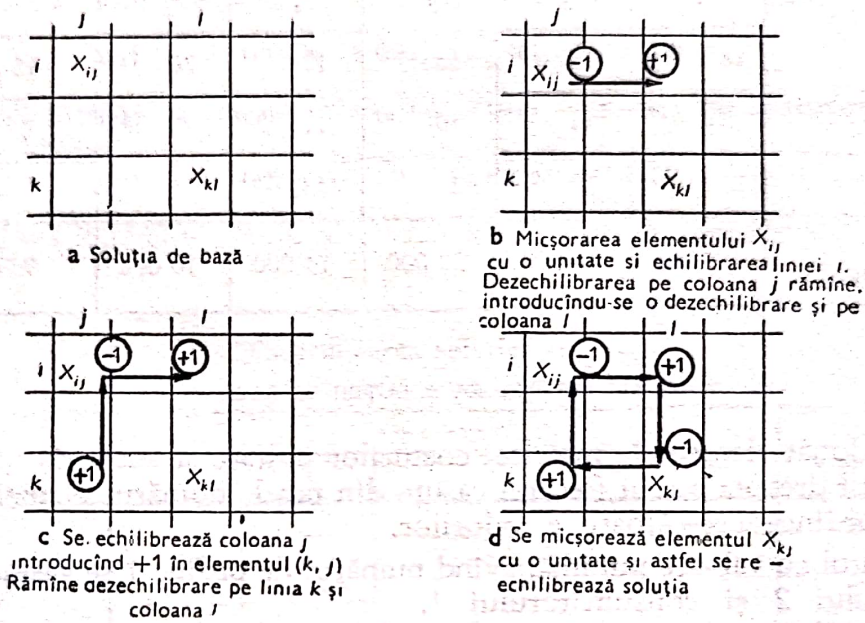


Fig. XV. 1

3. STABILIREA PLANULUI DE TRANSPORTURI A MATERIALELOR DE MASĂ

a. ÎNTOCMIREA TABELULUI PENTRU CALCULAREA REPARTIȚIEI OPTIME

O întreprindere are într-o regiune cinci șantiere pentru care elaborează planul de aprovizionare cu agregate, avînd la dispoziție 3 balastiere.

Producția lunară a acestor balastiere este:

$$D_1 = 15\,000 \text{ m}^3$$
$$D_2 = 36\,000 \text{ m}^3$$
$$D_3 = 22\,000 \text{ m}^3.$$

Necesarul lunar de aprovizionat pe șantierele susmenționate este:

$$N_1 = 13\,000 \text{ m}^3$$
$$N_2 = 16\,000 \text{ m}^3$$
$$N_3 = 20\,000 \text{ m}^3$$
$$N_4 = 14\,000 \text{ m}^3$$
$$N_5 = 10\,000 \text{ m}^3.$$

Scanned with OKEN Scanner

Costurile unitare ale transporturilor de la cele trei balastiere la cele cinci șantiere sînt date prin matricea costurilor din tabelul XV.2.

Tabelul XV.2

Matricea costurilor unitare, vectorul linie al necesarului și vectorul coloană al disponibilului, într-o problemă concretă de repartiție

Producători	Consumatori 1	2	3	4	5	Disponibil la producător
1	18 (11)	13 (5)	15 (8)	12 (4)	20 (13)	15 000
2	4 (1)	11 (3)	16 (9)	17 (10)	25 (14)	36 000
3	10 (2)	19 (12)	14 (7)	13 (6)	28 (15)	22 000
Necesar la consumatori	13 000	16 000	20 000	14 000	10 000	73 000

b. DETERMINAREA SOLUȚIEI DE BAZĂ

Am ordonat elementele matricei costurilor unitare și am scris între paranteze în colțul dreapta sau al fiecărei căsuțe din tabel, numărul elementului respectiv în ordinea crescătoare a valorilor.

Elementul cu valoare minimă, avînd numărul de ordine 1 se găsește pe linia producătorului *2* și consumatorului *1*.

Vom trece în soluția de bază valoarea 13 000 (tabelul XV.3), egală cu N_1, deoarece este îndeplinită condiția (XV.4).

$$N_1 = 13\,000 < D_2 = 36\,000.$$

Consumatorul *1* fiind satisfăcut integral în acest fel, vom bara celelalte căsuțe ale primei coloane.

Tabelul XV.3

Determinarea soluției de bază prin metoda costurilor minime

Faza 1. Satisfacerea consumatorului cu costul minim (1)

Producător	Consumatori 1	2	3	4	5	Disponibil la producători
1	—					15 000
2	13 000					23 000
3	—					22 000
Necesar la consumatori	13 000	16 000	20 000	14 000	10 000	

La producătorul 2 a rămas un disponibil de

$$D_2' = 36\,000 - 13\,000 = 23\,000.$$

Costul următor, avînd numărul de ordine 2, este situat pe coloana primului consumator care este satisfăcut, deci nu ne mai interesează. De aceea trecem la costul cu numărul de ordine 3, care se află la intersecția liniei producătorului 2 cu consumatorul 2 (tabelul XV.4). Întrucît

$$N_2 = 16\,000 < D_2' = 23\,000$$

vom acoperi integral necesarul consumatorului 2 de la producătorul 2 al cărui disponibil devine

$$D_2'' = 23\,000 - 16\,000 = 7\,000.$$

Vom bara celelalte căsuțe ale coloanei 2, întrucît consumatorul 2 a fost satisfăcut.

Tabelul XV.4

Determinarea soluției de bază

Faza 2. Satisfacerea consumatorului următor (2)

Producători	Consumatori					Disponibil la producători
	1	2	3	4	5	
1	—	—				15 000
2	13 000	16 000				7 000
3	—	—				22 000
Necesar la consumatori	13 000	16 000	20 000	14 000	10 000	

Următorul cost minim, rămas în coloanele 3, 4 și 5 încă nesatisfăcute, este costul cu număr de ordine 4, care indică satisfacerea consumatorului 4 de la producătorul 1.

Deoarece

$$N_4 = 14\,000 < D_1 = 15\,000$$

vom satisface integral necesarul consumatorului 4 (tabelul XV.5), disponibilul primului producător devenind:

$$D_1' = 15\,000 - 14\,000 = 1\,000.$$

Ultimele două coloane nesatisfăcute după această fază au costul minim cu numărul de ordine 7 care determină introducerea în soluția de bază a prevederii de satisfacere a necesarului consumatorului 3 de la producătorul 3 (tabelul XV.6), lucru posibil deoarece

$$N_3 = 20\,000 < D_3 = 22\,000.$$

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul XV.5

Determinarea soluției de bază

Faza 3. Satisfacerea consumatorului 4

Producători	Consumatori					Disponibil la producători
	1	2	3	4	5	
1	—	—		14 000		1 000
2	13 000	16 000		—		7 000
3	—	—		—		22 000
Necesar la consumatori	13 000	16 000	20 000	14 000	10 000	

După această operație, la producătorul *3* a mai rămas un disponibil de:

$$D_3'=22\ 000-20\ 000=2\ 000.$$

Tabelul XV.6

Determinarea soluției de bază

Faza 4. Satisfacerea consumatorului 3

Producători	Consumatori					Disponibil la producători
	1	2	3	4	5	
1	—	—	—	14 000		1 000
2	13 000	16 000	—	—		7 000
3	—	—	20 000	—		2 000
Necesar la consumatori	13 000	16 000	20 000	14 000	10 000	

Ultimul consumator are costul minim cu număr de ordine (13) care indică satisfacerea necesarului de la producătorul *1*. Însă

$$N_5=10\ 000>D_1'=1\ 000.$$

De aceea vom include în soluția de bază

$$X_{15}=1\ 000.$$

Consumatorul *5* este nesatisfăcut cu o cantitate egală cu

$$N_5'=N_5-X_{15}=10\ 000-1\ 000=9\ 000.$$

Următorul cost de transport unitar (14) indică producătorul 2. Vom include și acest producător în soluția de bază cu o cantitate

$$X_{25}=7\ 000.$$

În urma acestei operații, dictată de faptul că

$$N'_5=9\,000>D''_2=7\,000$$

se constată nesatisfacerea consumatorului *5* cu cantitatea

$$N''_5=9\,000-7\,000=2\,000.$$

Aceasta se poate acoperi integral din disponibilul producătorului *3* (tabelul XV.7);

$$X_{35}=2\,000.$$

Tabelul XV.7

Determinarea soluției de bază

Faza 5. Satisfacerea ultimului consumator

Producători	Consumatori					Disponibil la producători
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	
1	—	—	—	14 000	1 000	
2	13 000	16 000	—	—	7 000	
3	—	—	20 000	—	2 000	
Necesar la consumatori	13 000	16 000	20 000	14 000	10 000	

Costul transportului agregatelor repartizate conform soluției de bază este:

$$4\times13\,000+11\times16\,000+14\times20\,000+12\times14\,000+20\times1\,000+25\times7\,000+$$
$$+28\times2\,000=927\,000 \text{ lei.}$$

Soluția de bază astfel obținută se verifică astfel:

— suma elementelor de pe o linie este egală cu disponibilul producătorului de pe linia respectivă;

— suma elementelor de pe o coloană este egală cu necesarul consumatorului de pe coloana respectivă.

c. APLICAREA ALGORITMULUI STEPPING – STONE

Se pornește de la soluția de bază determinată în tabelul XV.7 și se caută să se amelioreze pas cu pas, pornind pentru început cu elementul X_{21} ca pivot. Sînt posibile următoarele modificări:

Variația costului transportului este (fig. XV.2):

— pentru modificarea *a*

$$\Delta F=-4+16-14+10=+8;$$

— pentru modificarea *b*

$$\Delta F=-4+17-12+18=+19;$$

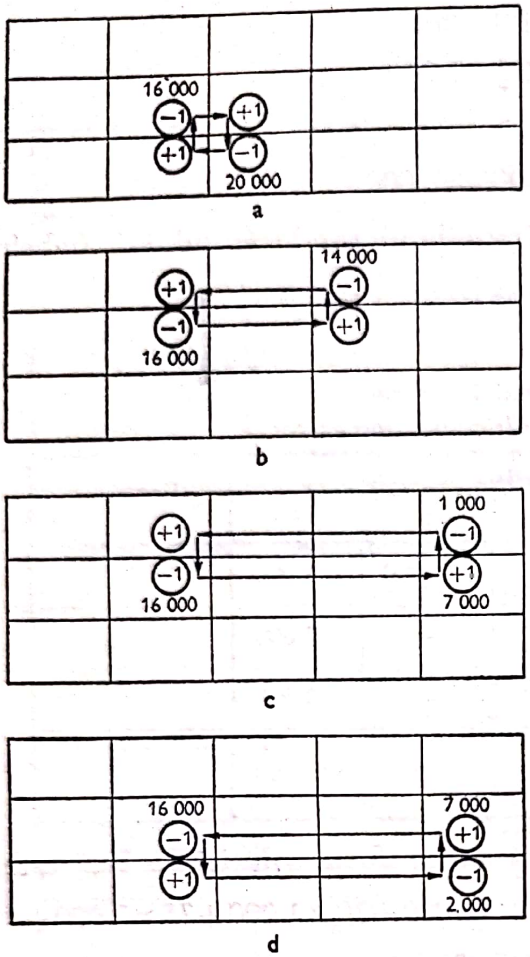


Fig. XV.2

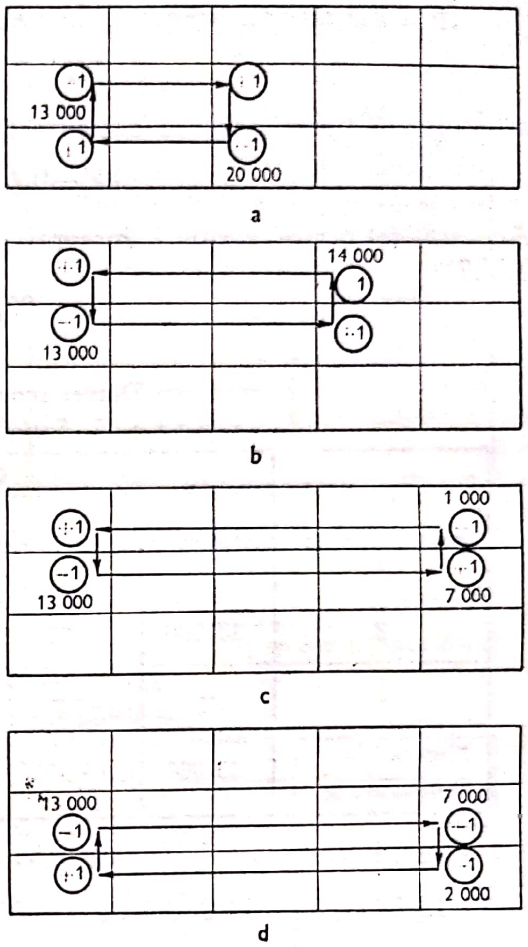


Fig. XV.3

— pentru modificarea *c*

$$\Delta F = -4+25-20+18 = +19;$$

— pentru modificarea *d*

$$\Delta F = -4+25-28+10 = +3.$$

Se constată că nici una din modificările efectuate avînd ca pivot elementul X_{21} nu conduce la o diminuare a costului, deci nu se va opera nici o modificare în soluția de bază.

Se trece la analiza modificărilor posibile luînd ca pivot alt element din soluția de bază, anume X_{22}.

Variația costului transportului este: (fig. XV.3):

— pentru modificarea *a*

$$\Delta F = -11+16-14+19 = +10;$$

— pentru modificarea *b*

$$\Delta F = -11+17-12+13 = +7;$$

— pentru modificarea *c*

$$\Delta F = -11+25-20+13 = +7;$$

— pentru modificarea *d*

$$\Delta F = -11+25-28+19 = +5.$$

Deoarece toate variațiile de cost sînt pozitive, nu se va opera nici una din modificările posibile avînd pe X_{22} ca pivot.

Înainte de a cerceta modificările posibile avînd ca pivot elementul X_{33}, se observă că, datorită simetriei relației (XV.9), nu mai este necesar să se calculeze modificarea care conține elementele X_{21} și respectiv X_{22} (analizate anterior pe aceeași diagonală cu pivotul X_{33}.

Variația costului transportului este (fig. XV.4) :

— pentru modificarea *a*

$$\Delta F = -14+13-12+15 = +2;$$

— pentru modificarea *b*

$$\Delta F = -14+28-20+15 = +9;$$

— pentru modificarea *c*

$$\Delta F = -14+28-25+16 = +5.$$

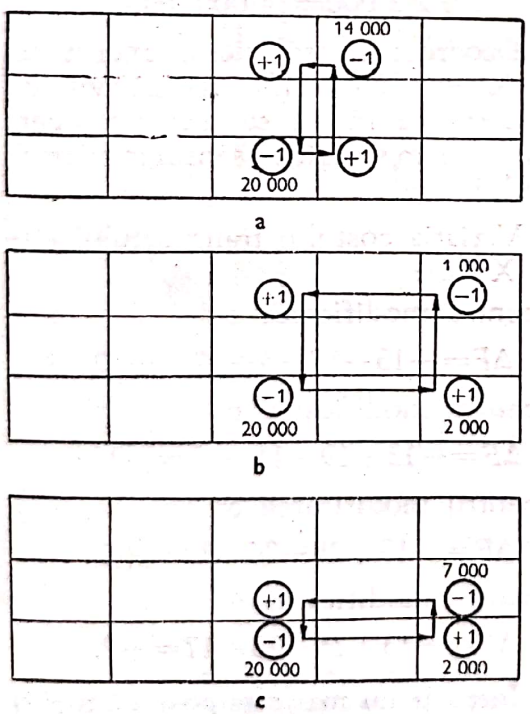


Fig. XV.4

Întrucît niciuna din aceste modificări nu conduce la o variație de cost negativă (descreștere a cheltuielilor de transport), nu se operează modificări avînd X_{33} ca pivot.

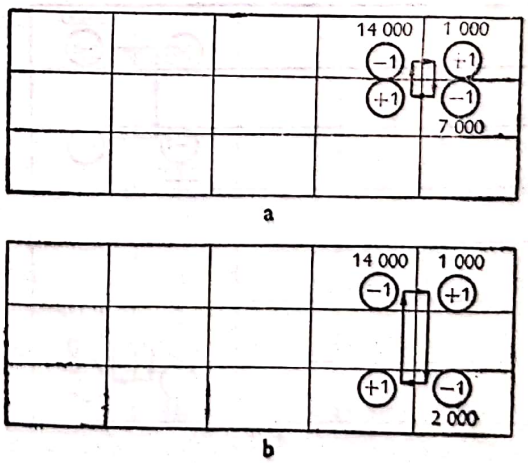


Fig. XV.5

Se trece la analiza modificărilor posibile de efectuat în soluția de bază, luînd ca pivot elementul X_{14}.

Variația costului transportului este (fig. XV.5):

— pentru modificarea *a*

$$\Delta F = -12+20-25+17=0;$$

— pentru modificarea *b*

$$\Delta F = -12+20-28+13=-7.$$

Este posibilă o îmbunătățire a soluției de bază în sensul modificării *b* din tabelul anterior, care conduce la o variație negativă a costului transportului. Întrucît elementul situat pe aceeași diagonală cu pivotul are valoarea mai mică

$$X_{35}=2\,000<X_{14}=14\,000$$

cantitatea maximă care participă la modificarea soluției de bază este egală cu 2 000.

În soluția de bază se operează în consecință următoarele modificări:

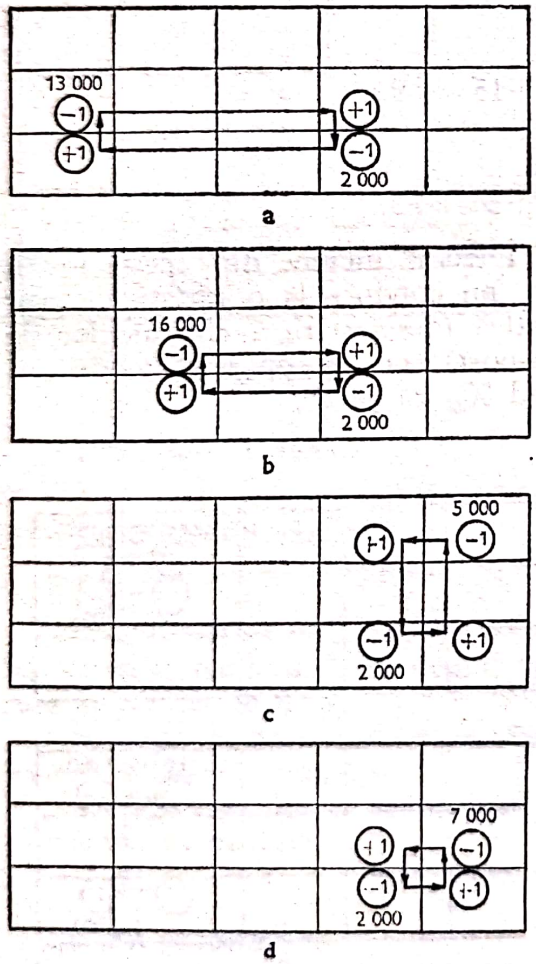


Fig. XV.6

$$X_{14}=14\,000-2\,000=12\,000$$
$$X_{15}=\ 1\,000+2\,000=\ 3\,000$$
$$X_{35}=\ 2\,000-2\,000=\ \ \ 0$$
$$X_{34}=\ \ \ 0+2\,000=\ 2\,000.$$

Costul transportului se diminuează cu:

$$7\times 2\,000=14\,000 \text{ lei.}$$

Deoarece în soluție a apărut un nou element, X_{34}, verificăm dacă avîndu-l pe acesta ca pivot, se mai pot opera modificări în soluție în sensul micșorării costului.

Variația costului transportului este (fig. XV.6):

— pentru modificarea *a*

$$\Delta F = -13+10-4+17=+10;$$

— pentru modificarea *b*

$$\Delta F = -13+19-11+17=+12;$$

— pentru modificarea *c*

$$\Delta F = -13+28-20+12=+7;$$

— pentru modificarea *d*

$$\Delta F = -13+28-25+17=+7.$$

Întrucît nu mai este posibilă nici o modificare în sensul micșorării costu-

lui total al transporturilor, soluția optimă a acestei probleme este ca în tabelul următor:

Producători	Consumatori					Disponibil la producători
	1	2	3	4	5	
1	—	—	—	12 000	3 000	15 000
2	13 000	16 000	—	—	7 000	36 000
3	—	—	20 000	2 000	—	22 000
Necesar la consumatori	13 000	16 000	20 000	14 000	10 000	73 000

Costul total al transporturilor care se efectuează conform acestei soluții este:

$$4\times13\,000+11\times16\,000+14\times20\,000+12\times12\,000+13\times2\,000+20\times3\,000+$$
$$+25\times7\,000=913\,000 \text{ lei},$$

ceea ce se putea obține și prin scăderea din costul inițial a reducerilor efectuate prin modificări:

$$927\,000-14\,000=913\,000 \text{ lei}.$$

Economia obținută prin îmbunătățirea soluției de bază este de 1,4% ceea ce se explică prin faptul că metoda folosită la determinarea soluției de bază dă soluții apropiate de optimum.

În raport cu soluțiile intuitive aplicate în practică, se realizează în mod obișnuit economii care variază între 5 și 20%, lucru care explică amploarea luată de calculul problemelor de repartiție în practica economică.

XVI

PROBLEME DE AȘTEPTARE

1. MODELUL MATEMATIC AL FENOMENELOR DE AȘTEPTARE

a. TERMINOLOGIE ȘI NOTAȚII

Răspîndite în toate ramurile de activitate, ca și în viața cotidiană, fenomenele de așteptare apar ori de cîte ori în activitatea utilajelor, a mijloacelor de transport, a oamenilor etc., intervin opriri în anumite puncte.

Scanned with OKEN Scanner

Aceste opriri sînt necesare pentru îndeplinirea anumitor funcții tehnologice sau de altă natură la punctele fixe, ceea ce face ca atît unitățile care circulă să aștepte la punctele fixe, cît și stațiile să aștepte sosiri ale unităților circulante. Se formează deci sisteme alcătuite din unități circulante și stații de îndeplinire a unor servicii pentru aceste unități.

Studierea fenomenelor de așteptare are ca scop determinarea configurației optime a sistemelor, astfel încît costul total al așteptării în oricare sistem să fie minim.

În principiu se pot lua și alte criterii de optimizare, în funcție de efectul urmărit prin aceasta de către conducătorul organismului respectiv.

Caracteristicile generale ale unui fenomen de așteptare sînt în principiu următoarele:

1) Circulația utilajelor, mijloacelor de transport, oamenilor etc., este discontinuă, unitățile acestora fiind separate prin intervale care depind de natura fenomenului studiat.

Se denumesc *unități* sau *clienți* elementele care se deplasează pe trasee în care se produc fenomene de așteptare.

2) Punctele de pe traseu unde unitățile care circulă sînt obligate să se oprească pentru îndeplinirea unor anumite sarcini sînt denumite *servicii.*

Timpul necesar trecerii unei unități printr-o stațiune este denumit *timp de serviciu*; el poate fi constant sau să varieze aleatoriu și poate fi caracterizat prin legi specifice fenomenului concret studiat.

3) Sosirile unităților la punctele de serviciu, denumite *intrări* sau *sosiri*, conduc la formarea uneia sau mai multor cozi paralele, denumite *șiruri* sau *fire de așteptare* sau, prescurtat, *fire.*

4) Un punct de serviciu poate dispune de unul sau mai multe *canale de serviciu* sau *stațiuni.*

O unitate care a fost servită iese din sistem.

În cele ce urmează se vor folosi notațiile și simbolurile grafice din fig. XVI.1

Un fenomen de așteptare poate să se formeze în fața unor *servicii dispuse în paralel* și în acest caz situația se prezintă ca în fig. XVI.1., sau să aibă *serviciile dispuse în serie* (sau în cascadă) și în acest caz se formează fire de așteptare în fața fiecărui serviciu.

Pentru a se produce un fenomen de așteptare, este necesar ca fie intervalele de timp care separă sosirile, fie timpii de serviciu, fie și sosirile și serviciile, să se producă cu neregularități. Nu se va studia cazul cînd durata serviciilor depășește intervalul de timp care separă sosirile, deoarece în acest caz firul de așteptare crește cu regularitate și nedefinit.

Un fenomen de așteptare în ansamblul său cuprinde trei grupuri funcționale:

— *sursele*, adică elemente imaginare convenționale care trimit pe traseu, după anumite legi de succesiune, unitățile care participă la fenomen;

— *firele de așteptare*, care se formează din cauza neregularităților între sosiri și servicii;

— *serviciile*, care reține cîte o unitate pentru îndeplinirea programului de sarcini, un anumit timp de serviciu.

Scanned with OKEN Scanner

Cînd unităţile care au ieşit din canalele de serviciu se reîntorc la surse, sîntem în cazul unui *sistem închis.*

De exemplu, un excavator căruia i s-au afectat un număr fix de autobasculante care îl deservesc în exclusivitate, formează un sistem închis deoarece, după ce au fost încărcate, autobasculantele transportă pămîntul săpat la rampa

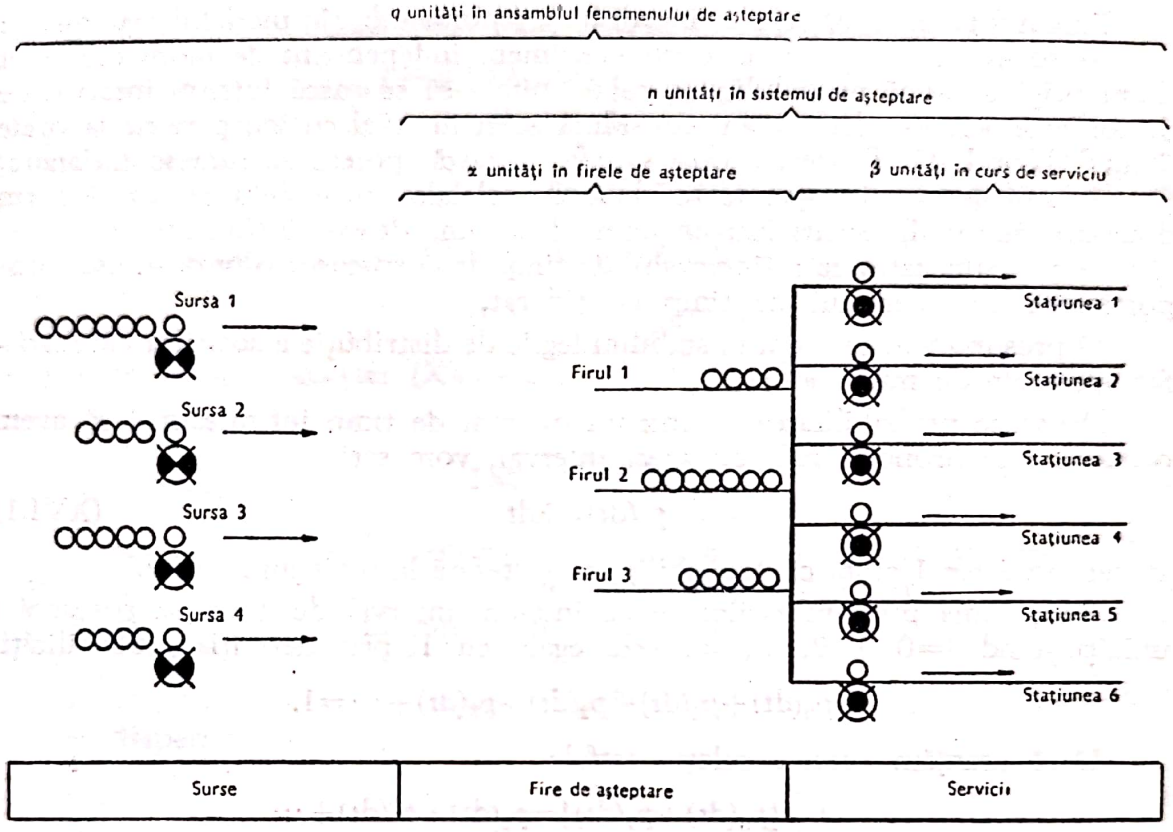


Fig. XVI. 1

de descărcare întorcîndu-se la acelaşi excavator pentru reîncărcare, efectuînd acelaşi ciclu tot timpul cît au fost afectate acestuia.

Cînd unităţile care ies din canalele de serviciu nu se mai întorc la surse, sîntem în cazul unui *sistem deschis.*

O staţie de benzină publică primeşte pentru efectuarea serviciilor drept clienţi, diferite autovehicule care nu se mai întorc pentru realimentare la aceeaşi staţie de benzină, exceptînd cazuri cu totul întîmplătoare. Acesta este, de exemplu, un sistem deschis.

Deoarece legătura între servicii şi surse prin afara firelor de aşteptare nu prezintă interes în acest studiu, se denumeşte *sistem de aşteptare* numai ansamblul constituit din firele de aşteptare şi servicii.

În cazul formării mai multor fire, se poate ca unele din acestea să aibă prioritate la servicii, pe baza unei discipline care fixează ordinea şi relaţiile de prioritate.

Scanned with OKEN Scanner

b. NATURA ALEATOARE A SOSIRILOR. LEGEA DISTRIBUȚIEI A LUI POISSON

Datorită faptului că unitățile sosesc la întîmplare, pentru caracterizarea fenomenului este necesar a cunoaște statistic desfășurarea sosirilor în timp, pentru a putea defini o lege de probabilitate a acestora.

Putem formula ipotezele de încadrare a fenomenului în modelul matematic:

— sosirea unei unități este un eveniment independent de momentul luat drept origine, adică probabilitatea ca o unitate să sosească într-un interval de 5 min este aceeași dacă vom considera acest interval cu începere de la orele 7 sau de la orele 11. Procesele care satisfac această ipoteză se numesc *staționare*;

— sosirile sînt independente unele de celelalte, probabilitatea ca să avem două sau mai multe sosiri într-un interval de timp dt este infinit mică;

— probabilitatea ca în intervalul de timp dt să sosească o unitate, este proporțională cu intervalul de timp considerat.

Să presupunem că vrem să stabilim legile de distribuție a sosirilor care satisfac ipotezele de mai înainte.

Deoarece probabilitatea ca într-un interval de timp infinitezimal să avem o sosire este proporțională cu acest interval, vom scrie:

$$p_1(dt)=\lambda dt \tag{XVI.1}$$

în care indicele 1 arată că probabilitatea se referă la o singură sosire.

Însă, suma probabilităților p_i ca într-un interval de timp să sosească i unități, cînd $i=0, 1, 2, \ldots, \infty$, este egală cu 1, prin definiția probabilității

$$p_0(dt)+p_1(dt)+p_2(dt)+p_3(dt)+\cdots=1.$$

Dacă aranjăm această relație astfel:

$$1-[p_0(dt)+p_1(dt)]=p_2(dt)+p_3(dt)+\cdots.$$

Conform ipotezei a doua, probabilitatea ca în intervalul dt să se producă mai mult de o sosire este infinit mică în raport cu dt. Relația precedentă devine în acest caz

$$\begin{aligned} &1-[p_0(dt)+p_1(dt)]=0\\ &p_0(dt)=1-p_1(dt)\\ &p_0(dt)=1-\lambda\, dt. \end{aligned} \tag{XVI.2}$$

Pentru a studia natura distribuției sosirilor, vom considera un interval de timp finit t și o creștere infinitezimală a acestuia, dt.

Pentru ca în intervalul $(t+dt)$ să avem n sosiri, sînt următoarele posibilități:

— să avem n sosiri în intervalul t și nici o sosire în intervalul dt;

— să avem $(n-1)$ sosiri în intervalul t și 1 sosire în intervalul dt.

Posibilitatea de a avea mai puțin de $(n-1)$ sosiri în intervalul t și mai mult de 1 sosire în intervalul dt se exclude datorită celei de a doua ipoteze, ca fiind infinit mic de ordin superior lui dt.

Scanned with OKEN Scanner

Rezultă:

$$p_n(t+dt)=p_n(t)\cdot p_0(dt)+p_{n-1}(t)\cdot p_1(dt). \qquad \text{(XVI.3)}$$

Înlocuind (XVI.1) și (XVI.2) în (XVI.3) obținem:

$$p_n(t+dt)=p_n(t)[1-\lambda\cdot dt]+p_{n-1}(t)\cdot\lambda\cdot dt$$

$$p_n(t+dt)-p_n(t)=\lambda[p_{n-1}(t)-p_n(t)]\,dt.$$

$$\frac{1}{\lambda}\left[\frac{p_n(t+dt)-p_n(t)}{dt}\right]=p_{n-1}(t)-p_n(t)$$

$$\frac{1}{\lambda}p_n'(t)=p_{n-1}(t)-p_n(t). \qquad \text{(XVI.4)}$$

Punînd acestei ecuații diferențiale condițiile limită

$$p_0(0)=1 \text{ și } p_n(0)=0 \text{ pentru } n\neq 0$$

se obține soluția ecuației (XVI.4).

$$p_n(t)=\frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!}. \qquad \text{(XVI.5)}$$

Aceasta este *legea de distribuție a lui Poisson*, o lege aproape generală a sosirilor în hazard, care se bucură de următoarele proprietăți:

— media sosirilor în intervalul de timp t

$$\bar{n}=\lambda t; \qquad \text{(XVI.6)}$$

— dispersia

$$\sigma^2=\lambda t. \qquad \text{(XVI.7)}$$

Valorile numerice ale probabilității într-o distribuție conformă cu legea lui Poisson sînt date în tabelul XVI.1 și au aspectul grafic din fig. XVI.2.

În această figură s-au reprezentat din motive de grafică curbe continue, cu toate că probabilitățile după Poisson există numai pentru valorile întregi ale lui n.

c. NATURA ALEATOARE A SERVICIULUI. DISTRIBUȚIA EXPONENȚIALĂ A INTERVALELOR ASOCIATĂ DISTRIBUȚIEI POISSON A EVENIMENTELOR

Ne propunem să calculăm probabilitatea ca intervalul de timp care separă două sosiri consecutive să fie superioară unei valori oarecare θ. Dacă sosirile se supun unei distribuții tip Poisson, vom calcula probabilitatea ca în intervalul θ ce urmează după prima sosire să nu intre în sistem nici o unitate:

$$p_0(\theta)=\frac{(\lambda\theta)^0 e^{-\lambda\theta}}{0!}=e^{-\lambda\theta}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Valorile numerice ale legii de distribuție

n	λt															
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
0	0,904	0,818	0,740	0,670	0,606	0,548	0,496	0,449	0,406	0,367	0,223	0,135	0,082	0,049	0,030	0,018
1	0,090	0,163	0,222	0,268	0,303	0,329	0,347	0,359	0,365	0,367	0,334	0,270	0,205	0,149	0,105	0,073
2	0,004	0,016	0,033	0,053	0,075	0,098	0,121	0,143	0,164	0,183	0,251	0,270	0,256	0,224	0,185	0,146
3	0,000	0,001	0,003	0,007	0,012	0,019	0,028	0,038	0,049	0,061	0,125	0,180	0,213	0,224	0,215	0,195
4		0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,005	0,007	0,011	0,015	0,047	0,090	0,133	0,168	0,188	0,195
5					0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,003	0,014	0,036	0,066	0,100	0,132	0,156
6								0,000	0,000	0,000	0,003	0,012	0,027	0,050	0,077	0104
7											0, 0	0,003	0,009	0,021	0,038	0,059
8												0,000	0,003	0,008	0,016	0,029
9													0,000	0,002	0,006	0,013
10														0,000	0,002	0,005
11															0,000	0,001
12																0,000
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																

Scanned with OKEN Scanner

a lui Poisson $p_n = \frac{(\lambda t)^n}{n!} \cdot e^{-\lambda t}$

Tabelul XVI.1

λt																
4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	12	14	16	18	n
0,011	0,006	0,004	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000							0
0,050	0,033	0,022	0,014	0,009	0,006	0,004	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000					1
0,112	0,084	0,061	0,044	0,031	0,022	0,015	0,010	0,007	0,005	0,003	0,002	0,000				2
0,168	0,140	0,113	0,089	0,068	0,052	0,038	0,028	0,020	0,015	0,010	0,007	0,001	0,000			3
0,189	0,175	0,155	0,133	0,111	0,091	0,072	0,057	0,044	0,033	0,025	0,018	0,005	0,001	0,000		4
0,170	0,175	0,171	0,160	0,145	0,127	0,109	0,091	0,075	0,060	0,048	0,037	0,012	0,003	0,001		5
0,128	0,146	0,157	0,160	0,157	0,149	0,136	0,122	0,106	0,091	0,076	0,063	0,025	0,008	0,002	0,000	6
0,082	0,104	0,123	0,137	0,146	0,149	0,146	0,139	0,129	0,117	0,103	0,090	0,043	0,017	0,006	0,001	7
0,046	0,065	0,084	0,103	0,118	0,130	0,137	0,139	0,137	0,131	0,123	0,112	0,065	0,030	0,012	0,004	8
0,023	0,036	0,051	0,068	0,085	0,101	0,114	0,124	0,129	0,131	0,130	0,125	0,087	0,047	0,021	0,008	9
0,010	0,018	0,028	0,041	0,055	0,071	0,085	0,099	0,110	0,118	0,123	0,125	0,104	0,066	0,034	0,015	10
0,004	0,008	0,014	0,022	0,033	0,045	0,058	0,072	0,085	0,097	0,106	0,113	0,114	0,084	0,049	0,024	11
0,001	0,003	0,006	0,011	0,017	0,026	0,036	0,048	0,060	0,072	0,084	0,094	0,114	0,098	0,066	0,036	12
0,000	0,001	0,002	0,005	0,008	0,014	0,021	0,029	0,039	0,050	0,061	0,072	0,105	0,106	0,081	0,050	13
	0,000	0,001	0,002	0,004	0,007	0,011	0,016	0,024	0,032	0,041	0,052	0,090	0,106	0,093	0,065	14
		0,000	0,000	0,001	0,003	0,005	0,009	0,013	0,019	0,026	0,034	0,072	0,098	0,099	0,078	15
				0,000	0,001	0,002	0,004	0,007	0,010	0,015	0,021	0,054	0,086	0,099	0,088	16
					0,000	0,001	0,002	0,003	0,005	0,008	0,012	0,038	0,071	0,093	0,093	17
						0,000	0,000	0,001	0,002	0,004	0,007	0,025	0,055	0,083	0,093	18
								0,000	0,001	0,002	0,003	0,016	0,040	0,069	0,088	19
									0,000	0,001	0,001	0,009	0,028	0,055	0,079	20
										0,000	0,000	0,005	0,019	0,042	0,068	21
												0,003	0,012	0,031	0,056	22
												0,001	0,007	0,021	0,043	23
												0,000	0,004	0,014	0,032	24
													0,002	0,009	0,023	25

Scanned with OKEN Scanner

Probabilitatea ca în intervalul $d\theta$ ce urmează, să nu se producă nici o sosire, este

$$p_0(d\theta)=e^{-\lambda\cdot d\theta}.$$

Probabilitatea ca în același interval să se producă cel puțin o sosire, se poate scrie

$$p_1(d\theta)=1-p_0(d\theta)=1-e^{-\lambda\cdot d\theta}$$

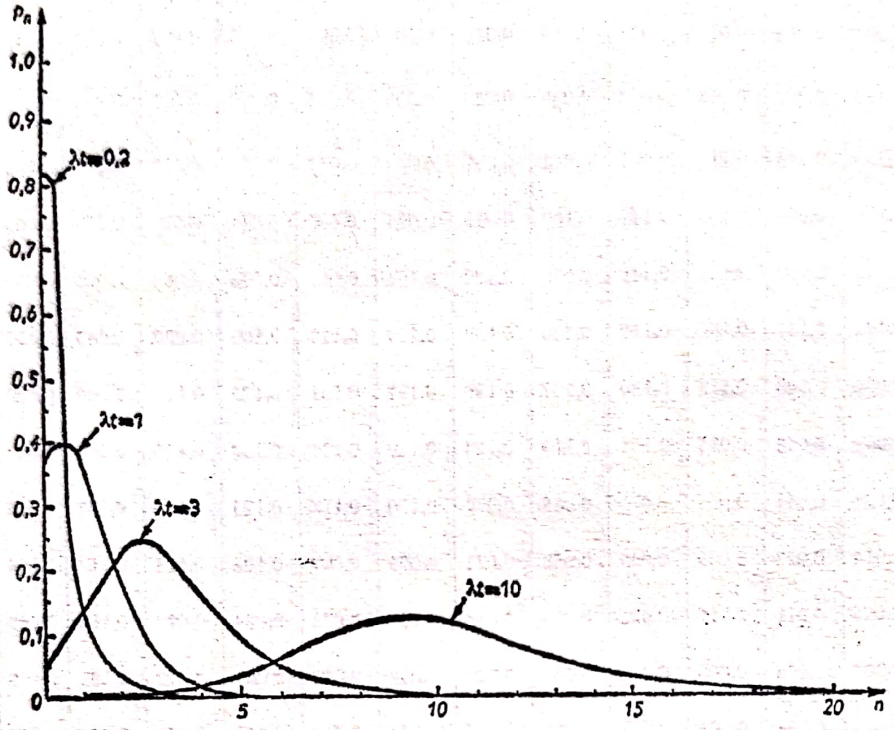


Fig. XVI. 2

Întrucît $d\theta$ este o mărime infinitezimală,

$$1-e^{-\lambda d\theta}=\lambda d\theta.$$

Densitatea de probabilitate a distribuției căutate este

$$f(\theta)\cdot d\theta=p_0(\theta)\cdot p_1(d\theta)=e^{-\lambda\theta}\cdot\lambda d\theta$$

deci

$$f(\theta)=\lambda e^{-\lambda\theta}.$$

Funcția de repartiție (probabilitatea cumulată) a intervalelor superioare valorii θ este

$$p(\theta)=\int_0^{\infty}\lambda e^{-\lambda\theta}dt=e^{-\lambda\theta}. \qquad \text{(XVI.8)}$$

Aceasta înseamnă că dacă un număr de λ unități sînt servite fără ca stațiunea să înceteze de a fi ocupată, timpul de serviciu este supus unei legi de probabilitate exponențială.

d. FIR DE AȘTEPTARE CU O SINGURĂ STAȚIE DE SERVICIU ȘI NUMĂR NELIMITAT DE UNITĂȚI (SISTEM DESCHIS)

Relații între elementele sistemului. Se consideră un sistem de așteptare constituit din autobasculante care formează o coadă, așteptînd rîndul la buncărul unei stații de încărcare cu balast. Sosirile autobasculantelor au fost analizate statistic, constatîndu-se că se supun unei legi de distribuție de tip Poisson, avînd parametrul λ, iar serviciul se desfășoară după o lege exponențială cu parametrul μ (fig. XVI.3).

Din paragrafele precedente, rezultă că pentru o lege Poisson cu parametrul λ, probabilitatea ca în intervalul Δt să sosească o unitate este $\lambda.\Delta t$. Probabilitatea realizării unui serviciu pentru o unitate în același interval de timp Δt, cînd serviciul se face după o lege exponențială cu parametrul μ, este $\mu\Delta t$. Prin definiție se denumește starea n a firului de așteptare situația în care firul este format din n unități.

Se observă că în evoluția acestui proces se pot ivi următoarele fluctuații:

a) relativ la starea n;

— să avem 1 sosire (starea n devine $n+1$);
— să avem 1 ieșire (starea n devine $n-1$);
— să nu avem sosiri sau ieșiri (starea n rămîne n);

b) relativ la starea $n+1$:

— să avem 1 ieșire (stare $n+1$ devine n);

c) relativ la starea $n-1$:

— să avem 1 sosire (starea $n-1$ devine n).

Conform ipotezei de bază admisă în cazul distribuțiilor de tip Poisson, că procesul este staționar, probabilitatea p_n trebuie să rămînă constantă indiferent de momentul de la care începe observarea intervalului de timp t.

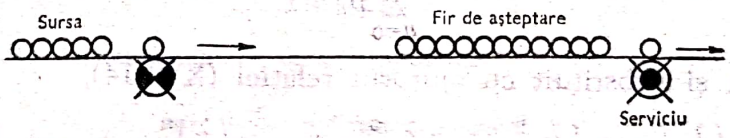


Fig. XVI.3

Probabilitatea p_n nu poate rămîne constantă în acest caz decît dacă se pune condiția ca aceasta să aibă aceleași șanse de a apare din alte stări, ca și de a se transforma în alte stări:

$$p(S_{n+1}\to S_n)+p(S_{n-1}\to S_n)=p(S_n\to S_{n+1})+p(S_n\to S_{n-1}). \qquad \text{(XVI.9)}$$

Deoarece s-a făcut ipoteza că sosirile sînt guvernate de o lege Poisson, iar serviciile de o lege exponențială, se poate scrie

$$p(S_{n+1}\to S_n)=p_{n+1}\mu\Delta t$$
$$p(S_{n-1}\to S_n)=p_{n-1}\lambda\Delta t$$
$$p(S_n\to S_{n+1})=p_n\lambda\Delta t$$
$$p(S_n\to S_{n-1})=p_n\mu\Delta t.$$

Făcînd înlocuirile respective, relația (XVI.9) devine

$$p_{n+1}\mu\Delta t+p_{n-1}\lambda\Delta t=p_n(\lambda+\mu)\Delta t$$

sau

$$\mu p_{n+1}-(\lambda+\mu)p_n+\lambda p_{n-1}=0.$$

Se observă că, dacă se scriu toate relațiile de tipul (XVI.10) pentru $n=0, 1, 2, \ldots, n$, se pot elimina valorile probabilităților intermediare prin adunarea acestor ecuații, obținînd în final:

$$\mu p_{n+1}-\lambda p_n-\mu p_1+\lambda p_0=0. \tag{XVI.11}$$

Pentru calcularea valorilor p_1 și p_0, pornind de la aceeași relație (XVI.9), se observă că nu se poate ajunge la starea S_0 decît de la starea S_1. Relația (XVI.9) devine:

$$\begin{aligned} &p(S_1\to S_0)=p(S_0\to S_1)\\ &p_1\mu\Delta t=p_0\lambda\Delta t\\ &\mu p_1=\lambda p_0. \end{aligned} \tag{XVI.12}$$

Înlocuind (XVI.12) în (XVI.11) se obține:

$$\mu p_{n+1}-\lambda p_n=0$$

$$p_{n+1}=\frac{\lambda}{\mu}p_n. \tag{XVI.13}$$

Expresia (XVI.13) este o relație de recurență care, aplicată începînd cu p_0, conduce la formula

$$p_n=\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n p_0. \tag{XVI.14}$$

Este ușor a determina acum valoarea p_0 deoarece, din definiția probabilităților se deduce:

$$\sum_{n=0}^{\infty} p_n=1$$

sau, explicitat și substituit cu ajutorul relației (XVI.14),

$$p_0+\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^1 p_0+\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 p_0+\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^3 p_0+\cdots+\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n p_0+\cdots=\frac{p_0}{1-\frac{\lambda}{\mu}}=1$$

din care rezultă

$$p_0=1-\frac{\lambda}{\mu}. \tag{XVI.15}$$

Probabilitatea ca în sistem să se afle n unități este dată deci de formula:

$$p_n=\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n\left(1-\frac{\lambda}{\mu}\right). \tag{XVI.16}$$

Raportul $\frac{\lambda}{\mu}$ se numește *intensitatea traficului* și are valori subunitare în cazul cînd firul de așteptare nu crește nedefinit.

Scanned with OKEN Scanner

Numărul mediu de unități în acest sistem este dat de speranța matematică

$$\bar{n}=0\cdot p_0+1\cdot p_1+2\cdot p_2+3\cdot p_3+\cdots+np_n+\cdots$$

de unde rezultă

$$\bar{n}=\frac{\lambda}{\mu-\lambda}. \qquad \text{(XVI.17)}$$

Numărul mediu de unități în firul de așteptare este

$$\bar{\alpha}=\bar{n}-\frac{\lambda}{\mu}. \qquad \text{(XVI.18)}$$

Timpul mediu de așteptare este dat de relația

$$\bar{t}=\frac{\bar{\alpha}}{\lambda}=\frac{\bar{n}}{\mu}. \qquad \text{(XVI.19)}$$

Exemplu de problemă cu un fir de așteptare la o singură stație de serviciu, în sistem deschis cu număr nelimitat de unități. La un depozit s-au planificat într-un schimb de 10 h, 80 de transporturi de materiale cu autocamioane de 3 t fiecare. Depozitul poate încărca în medie 10 autocamioane pe oră.

Din analiza făcută de serviciul de cercetare operațională al întreprinderii rezultă că sosirile autocamioanelor se fac după o lege Poisson, iar serviciul este exponențial.

Să se calculeze care este numărul mediu de autocamioane în sistem, lungimea medie a firului (numărul mediu de unități) la rampa de încărcare a depozitului, timpul mediu de așteptare și probabilitatea ca în firul de așteptare să se găsească 3 autocamioane.

Dacă se alege drept unitate de timp ora, se obține:

$$\lambda=\frac{80}{10}=8$$

$$\mu=10.$$

Numărul mediu de autocamioane în sistem va fi:

$$\bar{n}=\frac{8}{10-8}=4 \text{ autocamioane.}$$

La rampa de încărcare vor aștepta în medie

$$\bar{\alpha}=\bar{n}-\frac{\lambda}{\mu}=4-\frac{8}{10}\approx 3 \text{ autocamioane.}$$

Timpul mediu de așteptare:

$$\bar{t}=\frac{\bar{n}}{\mu}=\frac{4}{10}=0{,}4 \text{ h.}$$

Probabilitatea ca în firul de așteptare să se găsească 3 autocamioane este:

$$p_3=\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^3\left(1-\frac{\lambda}{\mu}\right)=\left(\frac{8}{10}\right)^3\left(1-\frac{8}{10}\right)=0{,}1024.$$

Scanned with OKEN Scanner

6. FIR DE AȘTEPTARE CU O SINGURĂ STAȚIE DE SERVICIU ÎN SISTEM ÎNCHIS CU NUMĂR LIMITAT DE UNITĂȚI

Relații între elementele sistemului. Pentru a sugera un asemenea sistem, se consideră un excavator căruia i s-au repartizat un număr m de autobasculante.

Se consideră că autobasculantele formează un fir de așteptare la încărcarea lor de către excavator, apoi se îndreaptă spre groapa de descărcare unde nu se produc așteptări, după care se întorc la excavator.

În acest ciclu se consideră că sosirile autobasculantelor urmează o lege Poisson iar durata serviciului este dată de o lege exponențială.

Pentru rezolvarea acestei probleme, se consideră ecuațiile diferențiale generale ale probabilității existenței a n unități într-un sistem, a căror demonstrație se poate găsi în tratatele de specialitate:

$$p_n'(t)=-(\lambda_n+\mu_n)\,p_n(t)+\lambda_{n-1}p_{n-1}(t)+\mu_{n+1}p_{n+1}(t), \qquad \text{(XVI.20)}$$

valabilă pentru $n>0$ și

$$p_0'(t)=-\lambda_0 p_0(t)+\mu_1 p_1(t) \qquad \text{(XVI.21)}$$

valabilă la limita $n=0$.

În relațiile (XVI.20) și (XVI.21), parametrii λ_n și μ_n sînt variabili în funcție de n.

Într-un sistem închis definit ca mai înainte, avem:

m — numărul total al unităților;
n — numărul de unități în sistemul fir + serviciu;
α — numărul de unități în firul de așteptare.

Dacă se notează cu λ și μ parametrii legilor de distribuție, care se aplică numai atunci cînd fenomenul intră în regim permanent, se obține:

— pentru $n=0$

$$\lambda_n=m\lambda; \qquad \text{(XVI.22)}$$

$$\mu_n=0;$$

— pentru $0<n\leqslant m$

$$\lambda_n=(m-n)^{\lambda}; \qquad \text{(XVI.23)}$$

$$\mu_n=\mu.$$

Prin înlocuirea parametrilor λ_n și μ_n cu expresiile (XVI.22) și (XVI.23) în ecuațiile diferențiale (XVI.20) și (XVI.21) se obține

$$p_0'(t)=-m\lambda p_0(t)+\mu p_1(t)$$

$$p_n'(t)=-[(m-n)\lambda+\mu]\,p_m(t)+[m-(n-1)]\,\lambda p_{n-1}(t)+\mu p_{n+1}(t).$$

La limită, cînd $n=m$ se obține:

$$p_m'(t)=-\mu p_m(t)+\lambda p_{m-1}(t).$$

Deoarece în regim permanent probabilitatea ca în sistem să existe n unități este constantă pentru orice valori ale lui n, derivatele acestor probabilități sînt nule și se poate scrie:

$$-m\lambda p_0+\mu p_1=0 \tag{XVI.24}$$

$$-[(m-n)\lambda+\mu]p_n+[m-(n-1)]\lambda p_{n-1}+\mu p_{n+1}=0 \tag{XVI.25}$$

$$-\mu p_m+\lambda p_{m-1}=0. \tag{XVI.26}$$

Din relația (XVI.25) se obține

$$\left[(m-n)\frac{\lambda}{\mu}+1\right]p_n=(m-n+1)\frac{\lambda}{\mu}p_{n-1}+p_{n+1}$$

$$p_n=(m-n+1)\frac{\lambda}{\mu}p_{n-1}+\left[p_{n+1}-[m-(n+1)+1]\frac{\lambda}{\mu}p_n\right].$$

Se observă ușor că aceasta definește o relație de recurență de forma

$$p_n=(m-n+1)\frac{\lambda}{\mu}p_{n-1}. \tag{XVI.27}$$

Aplicînd relația (XVI.27) pentru valori consecutiv descrescătoare ale lui n și ținînd seama de (XVI.24) se obține:

$$p_n=\frac{m!}{(m-n)!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n p_0. \tag{XVI.28}$$

Folosind același procedeu prin care s-a determinat relația (XVI.15) se obține:

$$p_0=\frac{1}{1+\sum_{n=1}^{m}\frac{m!}{(m-n)!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}. \tag{XVI.29}$$

Numărul mediu de unități în sistem va fi deci

$$\bar{n}=\sum_{n=0}^{m}np_n=m!\,p_0\sum_{n=0}^{m}\frac{n}{(m-n)!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n=m-\frac{(1-p_0)\mu}{\lambda}. \tag{XVI.30}$$

Numărul mediu de unități în firul de așteptare va fi

$$\bar{\alpha}=\sum_{n=0}^{m}(n-1)p_n=m!\,p_0\sum_{n=0}^{m}\frac{n-1}{(m-n)!}\cdot\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n=m-\frac{\lambda+\mu}{\lambda}(1-p_0). \tag{XVI.31}$$

Numărul mediu de unități din afara sistemului de așteptare va fi egal cu:

$$m-\bar{n}=\frac{\mu}{\lambda}(1-p_0). \tag{XVI.32}$$

Timpul mediu de așteptare în fir este:

$$\bar{t}=\frac{\bar{\alpha}}{\lambda(m-\bar{n})}=\frac{m-\frac{\lambda+\mu}{\lambda}(1-p_0)}{\mu(1-p_0)}=\frac{1}{\lambda}\left[\frac{m}{1-p_0}-\frac{\lambda+\mu}{\lambda}\right]. \qquad \text{(XVI.33)}$$

Exemplu de calcul pentru un sistem închis cu număr limitat de unități, sosiri tip Poisson, un fir de așteptare, un serviciu exponențial. Se reia problema cu excavatorul căruia i s-au repartizat autobasculante.

Se consideră că s-au repartizat acestui excavator un număr de 6 autobasculante, care sosesc la punctul de lucru în medie, la 5 min interval.

Încărcarea unei autobasculante durează de obicei 3 min. Vom avea:

$$m=6;$$

$$\lambda=\frac{60}{5}=12;$$

$$\mu=\frac{60}{3}=20.$$

Se calculează cu ajutorul relației (XVI.29) valoarea probabilității p_0, care reprezintă așteptarea excavatorului într-o oră (exprimată în ore):

$$p_0=\frac{1}{1+6!\sum_{n=1}^{6}\frac{1}{(6-n)!}\left(\frac{12}{20}\right)^n}.$$

Se calculează separat numitorul:

$$1+6!\left[\frac{0{,}6}{5!}+\frac{(0{,}6)^2}{4!}+\frac{(0{,}6)^3}{3!}+\frac{(0{,}6)^4}{2!}+\frac{(0{,}6)^5}{1!}+\frac{(0{,}6)^6}{0!}\right]=$$

$$=1+3{,}6+10{,}8+25{,}92+46{,}656+55{,}9872+33{,}59232=176{,}55552$$

$$p_0=0{,}00567.$$

Numărul mediu de unități în sistem va fi:

$$\bar{n}=6-\frac{(1-0{,}00567)\times 20}{12}=4{,}35.$$

Vor fi deci în sistem, între 4 și 5 autobasculante.

Numărul mediu de unități în firul de așteptare este:

$$\bar{\alpha}=6-\frac{12+20}{12}(1-0{,}00567)=3{,}35$$

deci vor aștepta 3 sau 4 mașini.

Timpul mediu de așteptare în firul format este:

$$\bar{t}=\frac{1}{20}\left(\frac{6}{1-0{,}00567}-\frac{12+20}{12}\right)=0{,}169 \quad \text{h}=10 \text{ min}.$$

Rezultatul obținut arată că timpul mediu de așteptare al excavatorului este foarte redus (circa 2 s), practic excavatorul lucrînd încontinuu.

Scanned with OKEN Scanner

În schimb, autobasculantele așteaptă în fir circa 10 min înainte de a le veni rîndul la încărcare.

Această situație se datorește faptului că s-au alocat prea multe autobasculante.

Pentru găsirea soluției optime, se calculează costul acestei ipoteze, apoi se reduce prin încercări succesive numărul autobasculantelor, alegîndu-se acea soluție care conduce la un cost minim, datorat așteptării totale în sistem (excavator și autobasculante).

f. SISTEME DE AȘTEPTARE CU MAI MULTE STAȚII

Se consideră un sistem la care serviciul este asigurat de mai multe stații. Cînd toate stațiile sînt ocupate, se formează un fir de așteptare. Acest lucru se mai poate exprima și printr-o relație care arată că numărul n al unităților în sistem este mai mare decît numărul k al stațiilor de serviciu: $n>k$.

În cazul cînd numărul unităților din sistem este inferior numărului de stații, nu toate stațiile sînt ocupate și nu se formează fir de așteptare. Dacă sosirile se produc după legea lui Poisson, iar serviciile sînt exponențiale cu parametrii λ și respectiv μ, vom avea:

$$\lambda_n=\lambda; \tag{XVI.34}$$

— în cazul $k>n\geqslant 0$

$$\mu_n=n\mu; \tag{XVI.35}$$

— în cazul $n\geqslant k$

$$\mu_n=k\mu. \tag{XVI.36}$$

Ecuațiile diferențiale generale (XVI.20) și (XVI.21) se scriu ținînd seama de (XVI.34), (XVI.35) și (XVI.36)

— pentru $n=0$

$$p_0'(t)=-\lambda p_0(t)+\mu p_1(t);$$

— pentru cazul cînd $k>n\geqslant 1$

$$p_n'(t)=-(\lambda+n\mu)p_n(t)+\lambda p_{n-1}(t)+(n+1)\mu p_{n+1}(t);$$

— pentru cazul $n\geqslant k$

$$p_n'(t)=-(\lambda+k\mu)p_n(t)+\lambda p_{n-1}(t)+k\mu p_{n+1}(t).$$

Se presupune că se lucrează în regim permanent și deci derivatele probabilităților sînt nule:

$$-\lambda p_0+\mu p_1=0 \qquad n=0$$

$$-(\lambda+n\mu)p_n+\lambda p_{n-1}+(n+1)\mu p_{n+1}=0 \qquad k>n\geqslant 1$$

$$-(\lambda+k\mu)p_n+\lambda p_{n-1}+k\mu p_{n+1}=0 \qquad n\geqslant k.$$

Din aceste relații se deduce:

$$p_n=\frac{p_0}{n!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \qquad k>n\geqslant 1 \tag{XVI.37}$$

$$p_n=\frac{p_0}{k!\,k^{n-k}}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \qquad n\geqslant k \tag{XVI.38}$$

Scanned with OKEN Scanner

$$p_0 = \frac{1}{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{1}{k!\left(1-\frac{\lambda}{k\mu}\right)} + \sum_{n=0}^{k-1} \frac{1}{n!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}. \qquad \text{(XVI.39)}$$

Valoarea medie a numărului de unități în sistem va fi:

$$\bar{n} = \sum_{n=0}^{\infty} n p_n. \qquad \text{(XVI.40)}$$

Valoarea medie a numărului de unități în sistemul de așteptare este dată de relația

$$\bar{\alpha} = \sum_{n=k+1}^{\infty} (n-k)\, p_n. \qquad \text{(XVI.41)}$$

Timpul mediu de așteptare în fir este:

$$\bar{t} = \frac{1}{\lambda} \sum_{n=k+1}^{\infty} (n-k)\, p_n. \qquad \text{(XVI.42)}$$

Folosirea mai multor stații în paralel prezintă mari avantaje în exploatare deoarece se reduce durata de așteptare atît la stații cît și la clienți.

2. CONȚINUTUL PROBLEMELOR DE AȘTEPTARE

Rezolvarea unei probleme concrete de așteptare nu se limitează la aplicarea automată a relațiilor date mai înainte.

Se reamintește că pentru determinarea acestor relații s-a făcut ipoteza că probabilitatea de a avea n sosiri într-un interval de timp depinde în exclusivitate de intervalul de timp, nu de momentul în care se declanșează procesul. Această ipoteză se sintetizează prin denumirea de *proces staționar* care se dă fenomenului de așteptare respectiv.

Pentru a putea aplica relațiile studiate în paragraful 1 al acestui capitol este nevoie ca sosirile să fie de tip Poisson, iar serviciile exponențiale. În aceste legi se încadrează majoritatea fenomenelor de așteptare concrete.

Sînt însă cazuri în care fenomenele de așteptare nu sînt staționare și sînt guvernate de alte legi decît cele prezentate anterior.

Deoarece nu se poate cunoaște de la început dacă problema analizată se încadrează sau nu în ipotezele simplificatoare enunțate sau în legi de probabilitate cunoscute, rezolvarea unei probleme de așteptare se conduce în modul următor:

— se studiază statistic sosirile pentru a determina legea care le guvernează;

— se studiază statistic serviciile pentru a încadra durata acestora în legi de distribuție;

Scanned with OKEN Scanner

— în cazul proceselor nestaționare, se limitează măsurătorile la intervale în care fenomenele pot fi considerate că se încadrează în ipotezele de omogenitate în timp;

— se calculează elementele numerice ale problemei de așteptare date;

— se determină consecințele economice ale pierderilor de timp în firele de așteptare și la stațiile de serviciu.

Scopul final al calculelor într-o problemă de așteptare este să se afle minimul acestei funcții economice în funcție de parametrii legilor de probabilitate care guvernează sosirile și serviciile, de numărul de fire și de stații, de priorități etc.

a. STUDIUL STATISTIC AL SOSIRILOR

Rezolvarea unei probleme de așteptare de o anumită factură necesită cunoașterea condițiilor concrete de desfășurare a fenomenului.

Pentru aceasta se organizează de obicei măsurători în aceleași condiții puse de enunțul problemei. Cînd acest lucru nu este posibil, măsurătorile se fac asupra unor alte procese, similare.

Aceste măsurători se efectuează prin numărarea sosirilor la stația de serviciu, în intervale de timp egale.

Să presupunem că numărăm sosirile unităților în intervale de un minut, consecutive. Dacă observația se prelungește, de exemplu, 50 min, vom avea tot atîtea măsurători pe care le vom centraliza într-un tabel al frecvențelor de realizare a unui număr de n sosiri pe minut (tabelul XVI.2).

Tabelul XVI.2

Frecvența sosirilor unităților într-un sistem de așteptare. Măsurătoare statistică

Număr de unități sosite pe minut n	Frecvența F, a realizării a n sosiri pe minut	Probabilitatea de a se realiza n sosiri pe minut
0	0	0
1	0	0
2	1	0,02
3	2	0,04
4	2	0,04
5	4	0,08
6	7	0,14
7	11	0,22
8	10	0,20
9	8	0,16
10	3	0,06
11	1	0,02
12	1	0,02
13	0	0

Se observă că probabilitatea de realizare a n sosiri pe minut nu urmează o lege Poisson.

Scanned with OKEN Scanner

În acest caz, numărul mediu de unități în sistemul de așteptare este dat de speranța matematică:

$$\bar{n}=\sum_{n=0}^{13} np_n=0\times 0+1\times 0+2\times 0{,}02+3\times 0{,}04+4\times 0{,}04+5\times 0{,}08+6\times 0{,}14+$$
$$+7\times 0{,}22+8\times 0{,}20+9\times 0{,}16+10\times 0{,}06+11\times 0{,}02+12\times 0{,}02+13\times 0=7{,}20.$$

Din analiza statistică a sosirilor se poate deci, fie încadra fenomenul într-o lege de repartiție probabilistică cunoscută, fie calcula direct numărul mediu de unități în sistem cu ajutorul speranței matematice.

b. STUDIUL STATISTIC AL SERVICIULUI

Conducîndu-se după raționamente identice acelora avute în vedere la studiul sosirilor, se organizează măsurători asupra duratelor serviciilor, întocmind tabele cu frecvențele diferitelor durate.

Scopul acestora este căutarea unei legi de distribuție cunoscute în care să se încadreze duratele serviciilor.

În cazul cînd se constată că nu se poate încadra serviciul într-o lege de probabilitate cunoscută, se poate calcula durata medie a serviciului pe baza speranței matematice:

$$\bar{t}_s=\sum_d d\cdot p_d$$

în care: d este o variabilă aleatoare reprezentînd durata serviciului;
p_d — probabilitatea realizării unui serviciu de durată d.

c. STUDIUL PROCESELOR NESTAȚIONARE

Rezolvarea problemelor de așteptare în ipoteza unor fenomene nestaționare este atît de dificilă, încît se utilizează un procedeu prin care măsurătorile sînt limitate la perioade, mai scurte, reprezentative, asupra cărora se aplică metodele de calcul uzitate în cazul proceselor staționare.

Limitarea măsurătorilor la perioade care pot fi considerate staționare este arbitrară.

Problema se transformă în calculele succesive ale unui fenomen de așteptare cu parametrii variabili.

d. CALCULUL ELEMENTELOR NUMERICE ALE FENOMENELOR DE AȘTEPTARE. ALTE TIPURI DE PROBLEME DE AȘTEPTARE

În afara tipurilor de probleme studiate în paragrafele 1, d, 1, e și 1, f din acest capitol, în cele ce urmează se vor da cîteva formule pentru calculul fenomenelor de așteptare care se încadrează în alte scheme de serviciu și legi de probabilitate.

Fir de așteptare cu o stație de serviciu. Sosirile după legea lui Poisson, iar serviciul la intervale de timp constante. Se consideră durata timpului de serviciu

Scanned with OKEN Scanner

constantă şi egală cu $\frac{1}{\mu}$ iar parametrul sosirilor după legea lui Poisson egal cu λ. Relaţia care exprimă probabilitatea ca în sistem să avem n unităţi este:

$$p_n = \frac{\mu-\lambda}{\mu}\sum_{i=1}^{n}(-1)^{n-1}\left[\frac{\left(\frac{\lambda_i}{\mu}\right)^{n-1}}{(n-i)!}+\frac{\left(\frac{\lambda_i}{\mu}\right)^{n-(i+1)}}{[n-(i+1)]!}\right].$$

Timpul mediu de aşteptare în fir este dat de relaţia:

$$\bar{t}=\frac{\lambda}{2\mu(\lambda-\mu)}.$$

Pentru determinarea numărului mediu de unităţi în sistem se calculează speranţa matematică.

Fir de aşteptare cu o staţie de serviciu. Sosirile la intervale de timp regulate, iar serviciul după o lege exponenţială. Dacă intervalele de timp care separă două sosiri succesive sînt constante, aceasta implică şi λ=const.

Se calculează rădăcina p_0 a ecuaţiei transcendente

$$p_0 = 1-e^{-\frac{\mu}{\lambda}p_0}$$

cu ajutorul căreia se calculează apoi probabilităţile:

$$p_n = p_0(1-p_0)^n$$

numărul mediu de unităţi în sistem,

$$\bar{n}=\frac{1-p_0}{p_0}$$

şi timpul mediu de aşteptare

$$\bar{t}=\frac{1}{\lambda}\frac{1-p_0}{p_0}.$$

e. CONSECINŢELE ECONOMICE ALE FENOMENELOR DE AŞTEPTARE

Studiul fenomenelor de aşteptare urmăreşte în final să stabilească structura optimă a sistemului sursă — fire de aşteptare — servicii, adică stabilirea fie a numărului de staţii, fie a numărului de unităţi în sistem închis, fie a amîndurora.

O aşteptare reprezintă întotdeauna o pierdere. Pentru reducerea timpului mediu de aşteptare, se măreşte de regulă numărul staţiilor de serviciu. Aceasta se repercutează asupra costului total prin faptul că reduce pe de o parte cheltuielile generate de pierderea de timp în firele de aşteptare, dar măreşte cheltuielile legate de exploatarea unui număr sporit de servicii.

Se deduce că pentru orice sistem de aşteptare se poate scrie o funcţie economică reprezentînd suma costurilor de exploatare a celor k staţii de serviciu şi a costurilor provocate de pierderea de timp datorită aşteptării unităţilor în sistem:

$$F=\gamma\bar{n}\bar{t}+kE$$

în care: F este funcția economică a sistemului;
γ — costul orei de stagnare datorită așteptării unei unități;
$\overline{n}$ — numărul mediu de unități în sistem;
$\overline{t}$ — timpul mediu de așteptare, în ore;
k — numărul serviciilor;
E — costul orei de exploatare a unei stațiuni.

Finalitatea unei probleme de așteptare constă în determinarea numărului k de stații, care minimizează funcția economică F, ținînd seama de faptul că timpul mediu de așteptare și numărul mediu de unități în sistem sînt la rîndul lor funcții de același parametru k.

Studiul fenomenelor de așteptare servește totodată și la orientarea conducerii în procesul de organizare științifică a producției.

XVII

PROBLEME DE STOCURI

Stocul este o rezervă de materie primă, materiale, semifabricate sau produse finite, avînd rolul de tampon între procesele de producere, transport și consum ale unui anumit produs.

Rolul stocului este de a elimina sau micșora influența neuniformităților normale ale unuia din cele trei procese, asupra desfășurării celorlalte două.

Neuniformitățile sînt urmare fie a naturii procesului (transportul este, de exemplu, de cele mai multe ori discontinuu, la fel și procesele sezoniere), fie a unor fenomene aleatorii imprevizibile (defecțiuni ale utilajelor, condiții atmosferice), fie a necunoașterii din timp datorită unor motive obiective sau subiective, a necesarului de materiale.

Cu toate că provoacă întotdeauna cheltuieli care se reflectă în prețul de cost al produsului, stocurile au o mare importanță economică și socială, situîndu-se între producție și consum, acoperind necesitățile în condițiile fluctuațiilor atît în ritmul producției cît și al consumului.

Uneori stocurile servesc pentru acoperirea unor lipsuri de prevedere, a unei organizări necorespunzătoare a întreprinderii. Este dificil de stabilit care este limita între lipsa de prevedere obiectivă și deficiența organizatorică.

De aceea, conducerea fiecărei întreprinderi trebuie să-și elaboreze propria *politică de stocuri*, rezultată din analizarea condițiilor concrete de la fiecare punct de lucru, de procesul tehnologic, de condițiile de depozitare și de posibilitățile de transport, corelate cu prevederile de plan și repartițiile de materiale, cu posibilitățile furnizorilor. În cazul proceselor de producție care se desfășoară în aer liber, cum este de exemplu un șantier de construcții, trebuie avute în vedere condițiile climatice și meteorologice.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru a elabora cea mai justă politică de stocuri, conducerea întreprinderii va trebui să analizeze prin metodele cercetării operaționale, circulația materiilor prime, materialelor, semifabricatelor etc., în fluxul tehnologic real al producției. Aceasta necesită măsurători și evidențe statistice pentru fiecare sortiment pe o perioadă cît mai îndelungată, completate cu orice altă tehnică de analiză care ar putea da precizări sau orientări în scopul prevederii unor cantități optime în stocuri.

Previziunea este esențială în politica de stocuri, toate metodele care sînt analizate în cele ce urmează avînd drept scop apropierea prevederii de realitate.

1. CONSIDERAȚII ELEMENTARE

Prin stoc se definește în mod curent o cantitate de materiale existentă în cadrul unei unități și nefolosită în acel moment (înmagazinate). Aceste materiale așteaptă în depozite, magazii, silozuri, să intre în liniile de fabricație spre a deveni produse, să fie transportate, să fie vîndute spre a fi consumate, sau, în sfîrșit, să reintre într-un ciclu de fabricație ca produse intermediare.

În acest fel, noțiunea de stoc cere precizări atît asupra materialului la care se referă cît și asupra unității sau organizației (productivă sau neproductivă) la care stocul este constituit în acel moment.

Prin consumarea materialului stocat cît și prin alimentarea stocului datorită aprovizionărilor, volumul stocului înregistrează fluctuații în timp. Se spune că un material *intră în stoc* atunci cînd el este introdus într-un depozit printr-o aprovizionare sau ca urmare a unei prelucrări prealabile așteptînd faza următoare (intrarea în fluxul de producție sau vînzarea). Materialul *iese din stoc* atunci cînd, terminîndu-se faza de așteptare, ajunge la consumator (cumpărător) sau intră în fluxul de producție. Analizînd fluctuațiile stocului de materie primă

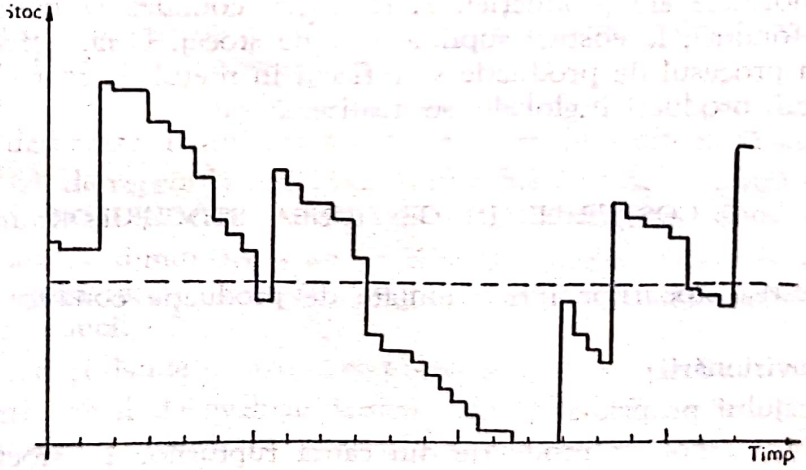


Fig. XVII. 1

într-o întreprindere care nu are o politică de stocuri precizată pe o perioadă de timp mai îndelungată, se constată neregularitatea intrărilor și a ieșirilor (fig. XVII.1), asistînd la situații în care volumul stocului este nul, urmate de

creşteri cu mult peste valoarea care ar asigura desfăşurarea normală a procesului de producţie. Situaţia în care cantitatea de material stocat a atins valoarea zero se numeşte *ruptură de stoc*.

2. FUNCŢIUNILE STOCURILOR

În circulaţia materiei de la sursa naturală de materii prime la consumator, pe diversele trepte de prelucrare sau în aşteptarea vînzării, stocurile au un important rol de tampon între producător şi consumator. Prin stocuri se împiedică modificarea continuă a producţiei în funcţie de cererile consumului sau limitarea consumului la posibilităţile producţiei. Analizînd rolurile pe care stocurile le îndeplinesc în viaţa economică şi socială se pot concretiza următoarele funcţiuni mai importante:

— *funcţiunea de regularizare* a neconcordanţelor dintre cererea consumatorului şi posibilităţile producţiei;

— *funcţiunea de prevedere* a unor imposibilităţi de aprovizionare şi a unor defecţiuni organizatorice.

Regularizarea fluctuaţiilor prin stocare apare necesară nu numai acolo unde se produce o diferenţă între cerere şi disponibil, ci chiar în lanţul riguros proiectat al unui flux tehnologic de producţie, cînd, datorită unor transporturi intermediare a produselor semifinisate de la un agregat la altul, efectuate cu dispozitive de transport cu o capacitate fixă, se stochează produsele pînă la atingerea volumului cerut de utilizarea raţională a mijlocului de transport.

Funcţiunea de prevedere a unor defecţiuni organizatorice sau de aprovizionare se realizează prin mărirea stocurilor peste valoarea medie rezultată din necesităţile normale ale producţiei. Acest lucru conduce la imobilizări suplimentare de fonduri, la costuri suplimentare de stocaj. Deci, defecţiunile organizatorice în procesul de producţie se reflectă în preţul de cost chiar şi atunci cînd volumul producţiei globale se realizează.

3. COSTURILE ÎN GESTIUNEA STOCURILOR

Organizarea stocurilor într-o unitate de producţie conduce la cheltuieli datorită:

— aprovizionării;

— stocajului propriu-zis;

— întreruperilor în producţie din cauza rupturilor în stocuri.

1) *Cheltuielile de aprovizionare* sînt compuse din:

— cheltuieli pentru prospectare şi studiu, în care sînt cuprinse cheltuielile pentru corespondenţa cu furnizorii, deplasări pentru prospectarea pieţei, analizele mostrelor, cumpărarea de cantităţi limitate pentru verificare în instalaţii pilot;

— cheltuieli pentru comandă în care sînt cuprinse darea comenzii, întocmirea contractului, divergenţe şi concilieri, semnarea contractelor, cu toate cheltuielile aferente materializate în francarea corespondenţei, taxe, convorbiri telefonice, deplasări, salarii personal afectat în această activitate;

— valoarea propriu-zisă a comenzii;

— cheltuielile de transport care de obicei descresc o dată cu creşterea volumului transportului.

Analizînd cheltuielile de aprovizionare independent de celelalte categorii de cheltuieli, se desprinde faptul că este mai avantajos a se organiza aprovizionarea cu cantităţi mari, constituind implicit şi stocuri mari.

2) *Cheltuielile de stocare*, compuse din:

— cheltuieli de recepţie şi manipulare în care sînt cuprinse de obicei salariile personalului însărcinat cu aceste operaţii, energie electrică, carburanţi şi lubrifianţi pentru utilajele de încărcat-descărcat şi transportat în interiorul depozitelor, deplasări pentru recepţie la producător;

— cheltuieli de amortizare a clădirilor (depozite, silozuri, clădiri administrative şi auxiliare etc.) şi a utilajelor din dotarea depozitelor;

— taxe şi dobînzi percepute pentru fondurile imobilizate prin stocare de materiale;

— pierderi prin depreciere a materialelor sensibile la manipulare şi transport, umiditate, lumină, căldură sau a materialelor perisabile, învechire etc.;

— cheltuieli provocate de depăşirea capacităţii de depozitare, locaţii C.F.R., returnări de materiale, decomandări şi penalizări, deprecierea materialelor depozitate necorespunzător.

Analizînd cheltuielile de stocare propriu-zisă independent de celelalte categorii de cheltuieli se constată că, în contrast cu cheltuielile de aprovizionare, este mai avantajos a se organiza stocuri cît mai mici.

3) *Cheltuieli de stagnare* a producţiei din cauza terminării materialelor din stoc (ruptură de stoc), compuse din:

— salarii, energie electrică şi calorică, amortismente pentru clădirile şi utilajele care deservesc lanţul productiv ce a stagnat din lipsă de materiale;

— cheltuieli de reprofilare în cazul rupturilor de stoc de lungă durată, care determină schimbarea profilului de producţie al unităţii economice în cauză;

— cheltuieli de diminuare a activităţii pentru cazul coborîrii stocului sub nivelul care asigură mersul normal al producţiei, fără a deveni nul (reducerea productivităţii muncii);

— penalizări şi daune pentru nerespectarea contractelor de livrare;

— pierderi dificil de evaluat datorită efectelor psihologice ale stagnării: plecarea personalului, pierderea încrederii beneficiarului etc.

Analizînd cheltuielile de stagnare datorită rupturilor de stoc, independent de celelalte categorii de cheltuieli care intervin într-o problemă de stocuri, se constată că probabilitatea apariţiei rupturilor în stocuri creşte o dată cu diminuarea volumului stocului. Rezultă posibilitatea practică de a fixa un prag de siguranţă pentru prevenirea epuizării stocurilor.

Scanned with OKEN Scanner

4. PREVIZIUNI ASUPRA NECESARULUI DE MATERIALE

Prima etapă în procesul de elaborare a unei politici de stocuri constă în prevederea necesarului de materiale pentru perioada care face obiectul studiului.

În general, previziunea este facilitată de existența unui plan de producție globală, care dă indicații asupra nivelului consumului. Stabilirea cantităților de materiale se poate face, în funcție de existența documentațiilor:

— prin extragerea din proiecte a cantităților rezultate din normele de consum;

— prin estimarea pe bază de indici de consum stabiliți prin calcule statistice la structuri de producție similare, pentru valoarea din plan neacoperită cu proiecte dar indicată ca sarcină fizică;

— prin extrapolare a consumurilor anterioare funcție de indicatorii valorici ai producției globale, pentru volumul de producție neacoperit cu documentație și indicat în plan ca sarcină valorică.

În afară de aceste calcule deterministe, este necesar a se avea în vedere unele fluctuații în consum datorită unor alți factori (de exemplu lucrul pe timp friguros, forța de muncă nedisponibilă, posibilitatea neacoperirii punctelor de lucru cu documentație la termenele stabilite etc.).

a. STABILIREA NECESARULUI DE MATERIALE PRIN EXTRAGERE DIN PROIECTE

Pentru o cît mai corectă previziune a necesarului de materiale, este necesar a se avea în vedere:

— graficul calendaristic de executare a lucrărilor;

— proiectul de execuție.

Problema stabilirii programului de resurse atunci cînd planificatorul dispune de proiect și de graful corespunzător, constituie o problemă de ordonanțare și a fost tratată în partea a doua a prezentei lucrări.

Stabilirea necesarului de materiale pe obiect. Se cunoaște din extrasul de materiale al proiectului de execuție consumul pentru fiecare sortiment pe capitole de lucrări, iar din graficul de execuție se poate aprecia perioada în care trebuie asigurat materialul respectiv.

Să presupunem în exemplul care urmează că ne preocupăm de stabilirea necesarului de oțel-beton pentru un bloc cu 9 etaje.

Din extrasul de materiale al proiectului aflăm cantitatea totală de oțel-beton necesară acestui obiect, anume 86 000 kg.

Sîntem de asemenea în posesia graficului de execuție care stabilește desfășurarea lucrărilor după cum se arată în fig. XVII.2, *a*.

Din antemăsurătoare extragem cantitățile care se prevăd pentru fiecare nivel, și anume

fundații, subsol	9 000 kg
parter	8 500 kg
etaj 1	8 000 kg
etaj 2	8 000 kg
etaj 3	8 000 kg
etaj 4	8 000 kg
etaj 5	7 500 kg
etaj 6	7 000 kg
etaj 7	7 000 kg
etaj 8	7 000 kg
etaj 9 și terasă	8 000 kg
total	86 000 kg.

Scanned with OKEN Scanner

Graficul de execuţie pentru fasonatul armăturii stabileşte necesitatea ca, înainte de perioadele de începere a acestei operaţii pentru fiecare nivel, stocul să poată satisface necesarul de oţel-beton conform extrasului de materiale. La sfîrşitul perioadei prevăzută pentru fasonat, stocul poate deveni, teoretic, nul. Considerînd variaţia stocului în perioada fasonării continuă, evoluţia prevăzută pentru stocul de oţel-beton capătă aspectul din fig. XVII.2,*b*.

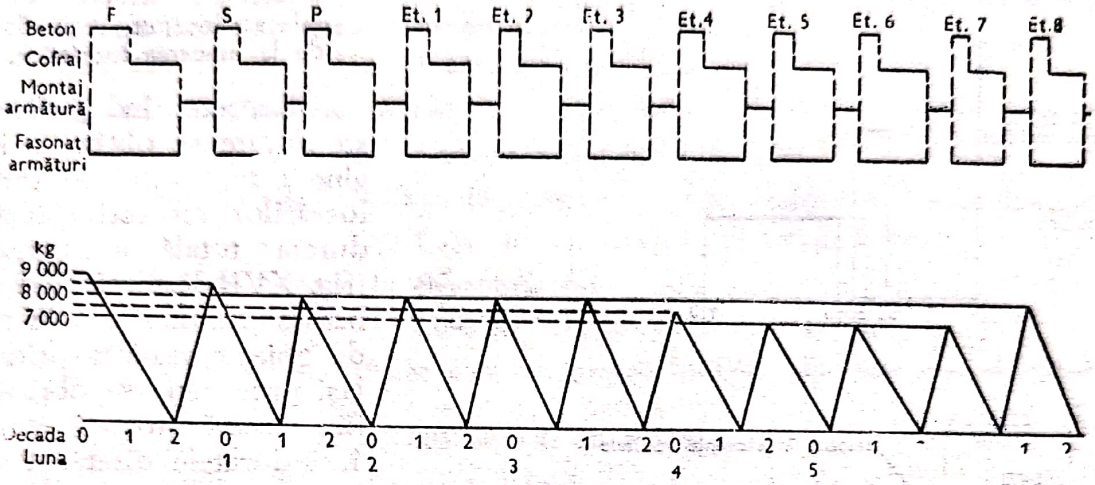


Fig. XVII. 2

b. STABILIREA NECESARULUI DE MATERIALE PE BAZA METODELOR STATISTICE

Metoda indicilor de consum. Atunci cînd se cunoaşte sarcina fizică sau valorică de plan, dar executantul nu a primit proiectele de execuţie, se poate determina necesarul de materiale pe baza indicilor de consum.

Indicii se stabilesc, de obicei, de către institute de cercetări şi institute de proiectări prin prelucrarea statistică a consumurilor realizate la proiecte de lucrări similare.

De asemenea, serviciile de cercetare operaţională ale executantului întocmesc analize statistice asupra duratelor medii realizate precum şi momentele de începere previzibile pentru principalele capitole de lucrări şi materiale.

Astfel, din analiza termenelor calendaristice realizate la construcţia unui bloc turn cu parter şi 11 etaje avînd structura executată cu ajutorul cofrajelor glisante, rezultă pentru capitolul de lucrări „betoane turnate în structură":

— data atacării lucrărilor 01.III.1966;
— data începerii glisării 06.IV.1966;
— data terminării glisării 20.IV.1966;
— data începerii betonării planşeelor 25.IV.1966;
— data terminării betonării planşeelor 20.VI.1966;
— data terminării lucrărilor 30.IX.1966.

Rezultă că, din timpul total de 210 zile necesare executării unui bloc prin procedeul cofrajelor glisante, lucrările de betoane turnate în structură au durat:

— pentru elementele de structură verticale 14 zile;
— pentru elementele de structură orizontale 55 zile;
— lucrările de betonare a elementelor de structură verticale au început după 36 zile de la atacarea lucrărilor;
— lucrările de betonare a elementelor de structură orizontale au început după 55 zile de la atacarea lucrărilor.

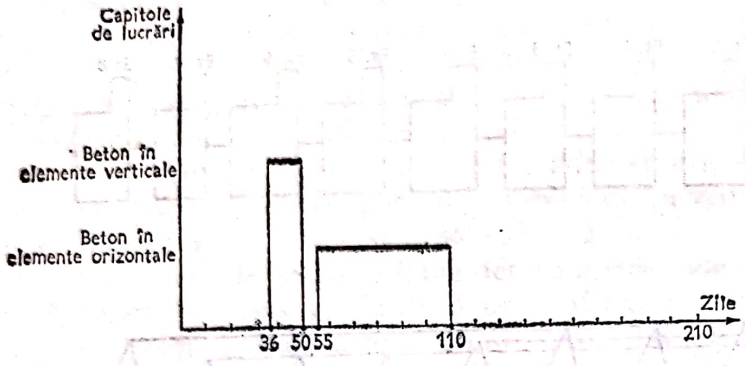


Fig. XVII. 3

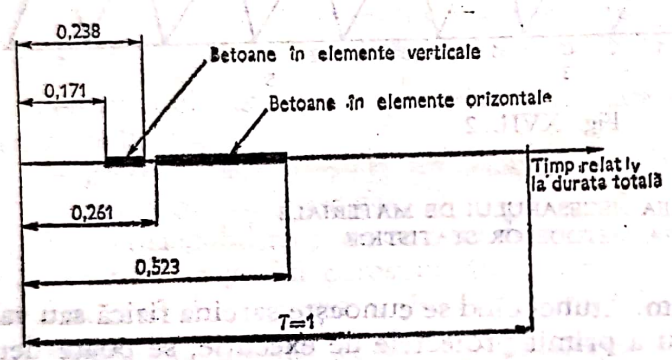


Fig. XVII. 4

Reprezentînd grafic aceste durate se obține o imagine a raportului în timp a lucrărilor respective față de durata totală a lucrărilor (fig. XVII.3). Extinzînd analiza asupra unui număr mare de obiecte realizate prin același procedeu, se obțin grafice asemănătoare, la care însă duratele diferă. Pentru a putea aprecia statistic datele obținute, se vor raporta la durata totală a realizării obiectului respectiv și se vor obține rezultatele din fig. XVII.4. Această reprezentare se numește *eșalonare tip*.

Exemplu. Să presupunem că pe baza celor arătate dorim să stabilim necesarul de betoane în structură pentru o construcție având o suprafață totală desfășurată de 4 500 m^2, care urmează a fi executată cu cofraje glisante, conform prevederilor din planul de investiții, pentru care nu dispunem încă de proiecte. Pentru realizarea acestui obiect, planul prevede 6 luni (180 zile).

Din indicatorii de consum de materiale pentru acest tip de structură puși la dispoziție de institutul care elaborează proiectul extragem indicii medii de consum:
— betoane în elemente verticale 0,300 m^3/m^2Ad;
— betoane în elemente orizontale 0,090 m^3/m^2Ad.

Luînd în considerare eșalonarea tip stabilită de către serviciul de cercetare operațională pentru condițiile de lucru și posibilitățile concrete ale întreprinderii de execuție respective vom calcula eșalonarea *probabilă* a acestor lucrări.

Rezultă, considerînd ca origine a timpului data atacării lucrărilor:
— data începerii lucrărilor de betonare a elementelor de structură verticale

$$0{,}171 \times 180 \text{ zile} \approx 31 \text{ zile};$$

— data terminării lucrărilor de betonare a elementelor de structură verticale

$$0{,}238 \times 180 \text{ zile} \approx 43 \text{ zile};$$

— data începerii lucrărilor de betonare a elementelor de structură orizontale

$$0{,}261 \times 180 \text{ zile} \approx 47 \text{ zile};$$

— data terminării lucrărilor de betonare a elementelor de structură orizontale

$$0{,}523 \times 180 \text{ zile} \approx 94 \text{ zile};$$

— durata betonării elementelor verticale

$$43 - 31 = 12 \text{ zile};$$

— durata betonării elementelor orizontale

$$94 - 47 = 47 \text{ zile};$$

— necesarul de betoane în elementele verticale

$$0{,}300 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ Ad} \times 4\,500 \text{ m}^2 = 1\,350 \text{ m}^3;$$

— necesarul zilnic de betoane conform prevederilor de executare a elementelor verticale

$$1\,350 \text{ m}^3 : 12 \text{ zile} \approx 113 \text{ m}^3/\text{zi};$$

— necesarul de betoane în elementele orizontale

$$0{,}090 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ Ad} \times 4\,500 \text{ m}^2 = 405 \text{ m}^3;$$

— necesarul zilnic de betoane conform prevederilor de executare a elementelor orizontale

$$405 \text{ m}^3 : 47 \text{ zile} \approx 9 \text{ m}^3/\text{zi}.$$

Față de aceste rezultate, necesarul de betoane al acestui obiect poate fi reprezentat grafic ca în fig. XVII.5.

Metoda extrapolării tendinței. Tendința este un element caracteristic proceselor de producție în curs de dezvoltare. Metoda extrapolării tendinței se folosește în cazurile cînd previziunea necesarului se elaborează într-un moment în care volumul consumului pe unitatea de timp este în creștere sau descreștere.

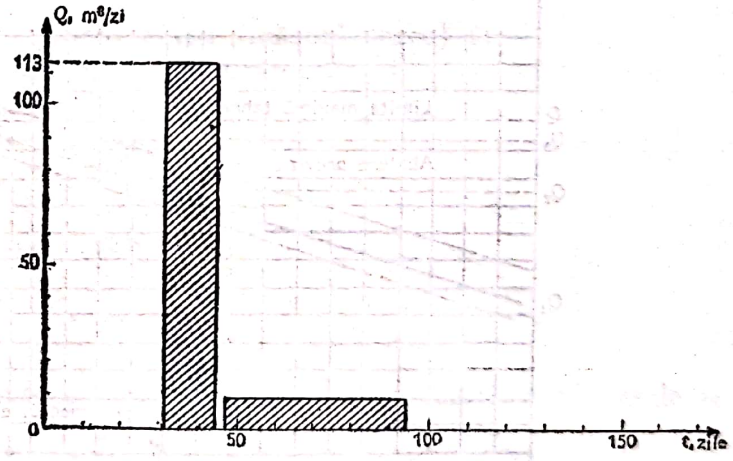


Fig. XVII. 5

În general se ține seama de tendința de creștere sau scădere a consumului atunci cînd acest proces este predominant. În fig. XVII.6 este arătat un proces la care consumul de materiale crește pînă la o limită maximă, o perioadă se menține constant, pentru a descreste apoi progresiv pînă la zero. Primele opt luni, consumul este în creștere. Pentru ultimele opt luni, consumul de ciment luat în acest exemplu este prevăzut a fi redus.

Uneori, tendința de creștere sau de descreștere nu poate fi stabilită pentru întregul parcurs al executării lucrării. În aceste situații se construiește graficul

Scanned with OKEN Scanner

evoluției consumului pînă în acel moment și se trasează consumul continuu echivalent sau previziunea medie.

Perioada de apreciere a tendinței consumului este aceea care precede momentul t_2 al elaborării planului de prezumare a consumului (fig. XVII.7).

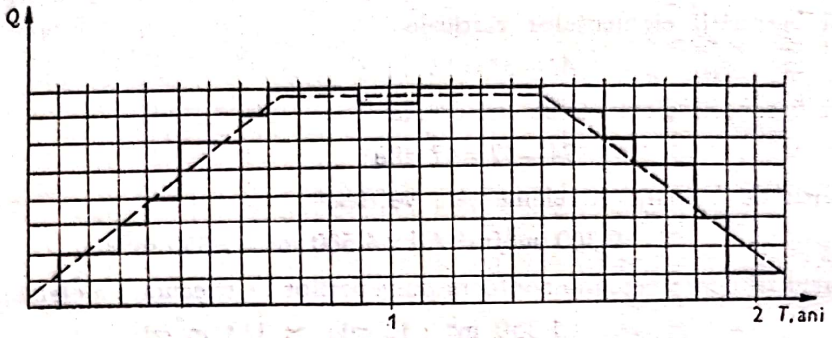


Fig. XVII.6

Extrapolarea se face cunoscînd consumul Q_1 la începutul t_1 al perioadei de apreciere și consumul Q_2 la sfîrșitul acesteia, t_2.

Creșterea consumului realizată pe unitatea de timp în perioada de apreciere este dată de relația

$$\Delta Q = \frac{Q_2 - Q_1}{t_2 - t_1}.$$

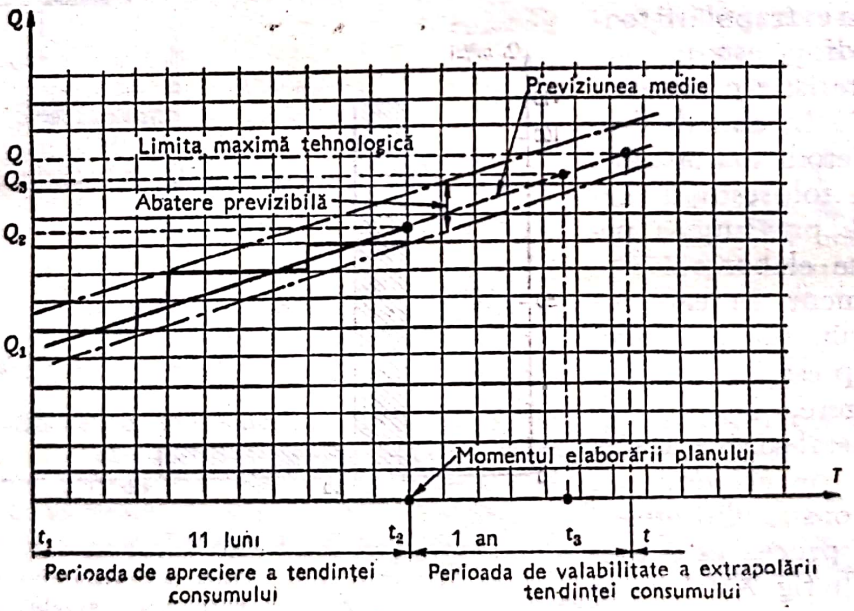


Fig. XVII.7

Din acest moment se extrapolează tendința de creștere a consumului în funcție de criteriul de valabilitate al previziunii.

Sînt cazuri cînd există o limită tehnologică a consumului, Q_{max} care, de exemplu, poate fi determinată de productivitatea maximă a oamenilor, utilajelor,

capacitatea de depozitare etc. În acest caz interesează termenul t la care consumul intră în regim staționar, care se determină cu relația

$$t=t_1+(t_2-t_1)\frac{Q_{max}-Q_1}{Q_2-Q_1}.$$

În alte cazuri, cînd perioada de extrapolare a tendinței consumului este inferioară celei care conduce la atingerea limitei Q_{max}, interesează volumul Q_3 al consumului la sfîrșitul t_3 al perioadei pentru care se elaborează previziunea prin extrapolarea tendinței. Acesta se determină cu relația:

$$Q_3=Q_2+(t_3-t_2)\Delta Q.$$

Previziunea prin metoda extrapolării tendinței necesită o atentă alegere a perioadei de aplicare precum și o apreciere a abaterii previzibile care se poate determina grafic ca în fig. XVII.7.

c. STUDIUL STATISTIC AL ABATERII ÎNTRE PREVIZIUNE ȘI CONSUMUL REAL

Pentru a putea aprecia gradul de aproximare al metodei de previziune folosită la stabilirea necesarului de materiale, în vederea aplicării acesteia în continuare, se recomandă studierea abaterii între consumul prevăzut și cel realizat efectiv.

Pentru aceasta, se presupune că s-au efectuat n măsurători asupra consumului real. Se notează cu:

C_{pi} — consumul prevăzut pentru etapa (măsurătoarea) i;

C_{ri} — consumul realizat în etapa (măsurătoarea) i.

Rezultă consumul mediu prevăzut

$$\bar{C}_p=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}C_{pi}$$

și, asemănător, consumul mediu realizat

$$\bar{C}_r=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}C_{ri}.$$

Pentru a aprecia dispersarea consumului real în jurul valorii medii reale se calculează dispersia

$$\sigma_r^2=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\bar{C}_r-C_{ri})^2$$

și abaterea medie pătratică σ_r.

Pentru a aprecia gradul de aproximare al metodei de previziune folosită față de consumul real, se calculează dispersia

$$\sigma_p^2=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\bar{C}_p-C_{ri})^2$$

și, din aceasta, abaterea medie pătratică σ_p.

Scanned with OKEN Scanner

În continuare se dă un exemplu de calcul pentru cazul unei stații de betoane, pentru care s-a prevăzut un consum de ciment constant de 200 t pe decadă.

Decada i	Consumul prevăzut C_{pi} t	Consumul real C_{ri} t	Abaterea față de consumul mediu realizat $\bar{C}_r - C_{ri}$	$(\bar{C}_r - C_{ri})^2$	Abaterea față de consumul mediu prevăzut $\bar{C}_p - C_{ri}$	$(\bar{C}_p - C_{ri})^2$
1	200	185	13,6	184,96	15	225
2	200	180	18,6	345,96	20	400
3	200	205	— 6,4	40,96	— 5	25
4	200	203	— 4,4	19,36	— 3	9
5	200	210	—11,4	129,96	—10	100
6	200	208	— 9,4	88,36	— 8	64
7	200	205	— 6,4	40,96	— 5	25
8	200	202	— 3,4	11,56	— 2	4
9	200	198	0,6	0,36	2	4
10	200	190	8,6	73,96	10	100
	2 000	1 986		936,40		956

$$\bar{C}_p = \frac{1}{10} \times 2\,000 = 200$$

$$\bar{C}_r = \frac{1}{10} \times 1\,986 = 198{,}6.$$

Dispersia față de consumul mediu real

$$\sigma_r^2 = \frac{1}{10} \times 936{,}4 = 93{,}64.$$

Dispersia față de consumul mediu prevăzut

$$\sigma_p^2 = \frac{1}{10} \times 956 = 95{,}6.$$

Abaterea medie pătratică:

$\sigma_r = \sqrt{93{,}64} = 9{,}68$ față de consumul mediu real;

$\sigma_p = \sqrt{95{,}6} = 9{,}78$ față de consumul mediu prevăzut.

Coeficientul de variație este

$$C_v = \frac{\sigma_p}{\bar{C}_p} = \frac{9{,}78}{200} = 4{,}89\%.$$

5. METODE DE REAPROVIZIONARE

Se iau în considerație cele trei metode principale de reaprovizionare cunoscute a avea cea mai largă răspîndire.

1) *Reaprovizionarea periodică cu readucerea stocului la nivelul optim* este ilustrată în fig. XVII.8.

Caracteristicile acestei metode sînt:

— furnizorul reaprovizionează stocul periodic, la intervale de timp egale T;

— cantităţile care se livrează nu sînt de regulă egale între ele, ci sînt fixate de beneficiar după criteriul readucerii stocului la nivelul optim;

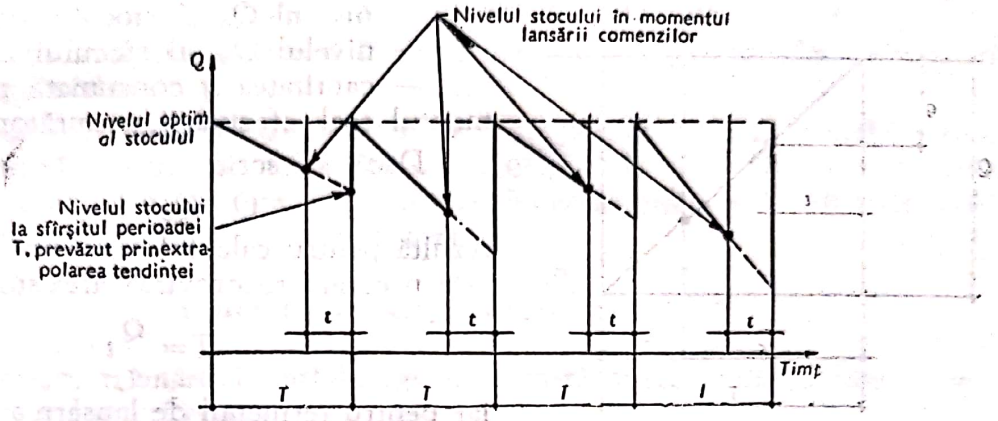


Fig. XVII.8

— lansarea comenzii privind cantitatea care se solicită de beneficiar se face periodic, la acelaşi interval de timp T, însă decalat cu t zile faţă de data reaprovizionării stocului.

— aprecierea cantităţilor care se comandă la furnizor se face prin extrapolarea tendinţei consumului pe o perioadă de t zile.

2) *Reaprovizionarea stocului în cantităţi egale cu menţinerea nivelului optim* este prezentată în fig. XVII.9.

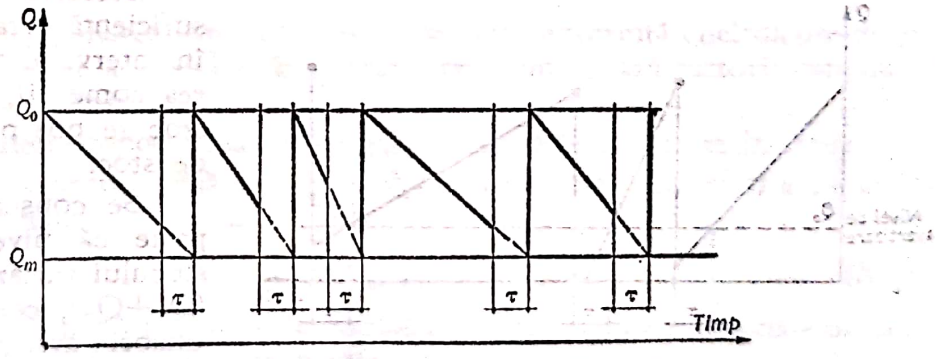


Fig. XVII.9

Caracteristicile acestei metode sînt:

— furnizorul reaprovizionează stocul cu cantităţi egale;

— condiţia pusă de furnizor pentru satisfacerea acestei necesităţi a beneficiarului este să primeaască din partea acestuia comenzile cu cel puţin τ zile înainte de data cînd doreşte ca furnitura să intre în stoc;

Scanned with OKEN Scanner

— beneficiarul determină momentul lansării comenzii, folosind ca metodă de previziune, extrapolarea tendinței. Pentru aceasta este necesar a se institui un control zilnic al nivelului stocului.

Se observă că, în fig. XVII.10 care reprezintă evoluția stocului între două reaprovizionări, sînt cunoscute:

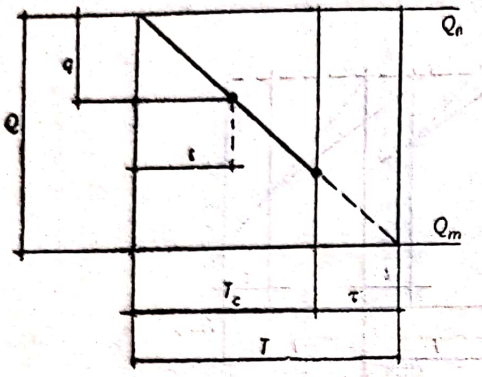


Fig. XVII.10

— nivelul Q_0 al stocului optim;
— nivelul Q_m al stocului minim;
— cantitatea q consumată pînă în momentul t al efectuării măsurătorii.

Dacă se scrie

$$Q = Q_0 - Q_m$$

rezultă pentru calculul termenului T la care este necesară reaprovizionarea stocului, relația

$$T = \frac{Q}{q} t$$

iar pentru termenul de lansare a comenzii

$$T_c = \frac{Q}{q} t - \tau.$$

3) *Reaprovizionarea condiționată de coborîrea stocului sub un nivel minim de siguranță* (numit de asemenea nivel de avertizare) este ilustrată în fig. XVII.11.

Caracteristicile acestei metode sînt:

— furnizorul reaprovizionează stocul cu cantități egale Q_r;

— beneficiarul lansează comanda de reaprovizionare în momentul în care stocul atinge nivelul de avertizare.

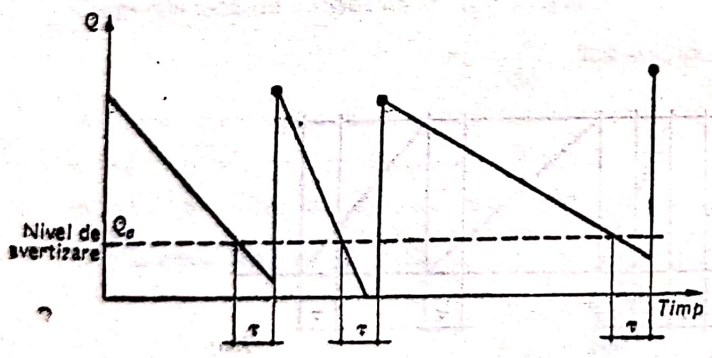


Fig. XVII.11

Această metodă nu dă suficientă garanție, deoarece în intervalul τ dintre lansarea comenzii și intrarea în stoc se pot produce rupturi de stoc.

Se constată pe de altă parte că nivelul maxim al stocului variază între Q_r și $(Q_r + Q_a)$, ceea ce conferă uneori avantajul asigurării unor spații de depozitare dimensionate corespunzător.

Această metodă se folosește și în cazurile cînd:

— se folosesc instalații automate de măsurare a stocului;

— intervalul τ de reaprovizionare este scurt;

— variația consumului este neliniară, deci metoda extrapolării tendinței își pierde valabilitatea și o dată cu ea, cele două metode expuse anterior.

Scanned with OKEN Scanner

6. DIMENSIONAREA STOCURILOR

Pentru a putea încadra o problemă de stocuri într-un model de dimensionare, este necesar a se stabili în primul rînd natura consumului de materiale.

Cînd consumul este previzibil pe o anumită perioadă cu un grad de precizie acceptabil, se iau în considerare *metodele de calcul deterministe.*

Cînd consumul este o variabilă aleatoare, se iau în considerare *metodele de calcul probabiliste.*

Deoarece atît stocarea materialelor cît şi stagnările datorite epuizării stocurilor antrenează costuri, se foloseşte ca principiu de dimensionare în toate metodele care vor fi prezentate, scrierea funcţiei economice care defineşte costul global, pe care ne propunem a o optimiza.

a. METODE DE CALCUL DETERMINISTE

Cazul reaprovizionării în rafale egale. Această metodă presupune îndeplinirea următoarelor criterii:

— previziunea asupra consumului se face aproape de certitudine;

— consumul este continuu şi uniform;

— stocul este reaprovizionat prin cantităţi egale numite *rafale.*

Se urmăreşte determinarea volumului optim al unei rafale.

Se notează cu:

Q — consumul anual;

q — volumul unei rafale.

Rezultă că, într-un an se vor lansa Q/q comenzi de reaprovizionare a stocului.

Pentru determinarea funcţiei economice care reprezintă cheltuielile de constituire şi exploatare a stocului, în continuare se analizează factorii care intervin într-o asemenea problemă.

1) Cheltuieli proporţionale cu volumul materialelor intrate în stoc:

— valoarea propriu-zisă a materialelor, achiziţionate la preţul u pe unitatea de măsură, totalizînd într-un an valoarea:

$$M = uQ; \tag{XVII.1}$$

— taxe şi dobînzi la fondurile imobilizate prin stocarea materialelor, notate cu d, care se aplică la valoarea medie a stocului.

Din fig. XVII.12 se determină volumul mediu al stocului şi valoarea anuală a dobînzilor:

$$S_m = \frac{q}{2};$$

$$D = dS_m = d\,\frac{q}{2}. \tag{XVII.2}$$

2) Cheltuieli legate de lansarea comenzilor și încheierea contractelor, recepția materialelor etc., care nu variază o dată cu creșterea volumului comenzii, fiind constante pentru fiecare lansare de comandă. Notînd

c — cheltuieli de lansare pentru o comandă, recepție materiale etc.;

L — cheltuieli de lansare în decursul unui an, rezultă

$$L=c\frac{Q}{q}. \qquad \text{(XVII.3)}$$

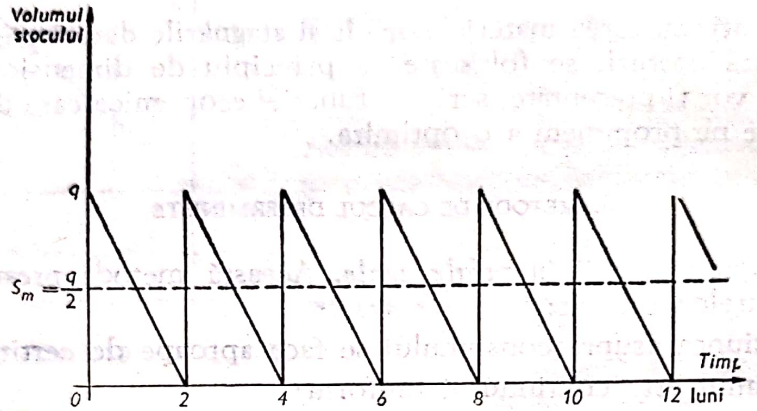


Fig. XVII.12

3) Cheltuielile de transport pot fi proporționale fie cu volumul materialelor, și în acest caz vor fi incluse în prețul unitar u, fie proporționale cu numărul comenzilor și în acest caz vor fi incluse în cheltuielile unitare de lansare c.

4) Cheltuielile proporționale cu timpul, cum sînt amortismente, cheltuieli administrative etc., se consideră cumulate în prețul a pe unitatea de timp.

$$A=aT. \qquad \text{(XVII.4)}$$

Funcția economică de constituire și întreținere a stocului, determinată din expresiile (XVII.1), (XVII.2), (XVII.3) și (XVII.4) este:

$$C=M+D+L+A=uQ+d\frac{q}{2}+c\frac{Q}{q}+aT. \qquad \text{(XVII.5)}$$

Ne interesează să determinăm valoarea q care face minimă funcția economică C. Pentru a afla minimul acestei funcții, calculăm derivata expresiei (XVII.5) în raport cu q:

$$\frac{dC}{dq}=-\frac{cQ}{q^2}+\frac{d}{2}. \qquad \text{(XVII.6)}$$

Expresia (XVII.6) se anulează pentru valoarea lui q care corespunde costului total minim

$$-\frac{cQ}{q^2}+\frac{d}{2}=0$$

de unde:

$$q=\sqrt{\frac{2\,cQ}{d}}. \qquad \text{(XVII.7)}$$

Numărul optim de comenzi într-un an este

$$n=\frac{Q}{q}. \qquad \text{(XVII.8)}$$

În concluzie, pentru o întreprindere care are consumul specific de materiale constant şi se aprovizionează în rafale egale, volumul optim al unei rafale dat de expresia (XVII.8) conduce la un număr optim de comenzi anual

$$n=\frac{Q}{q}=\sqrt{\frac{dQ}{2\,c}} \qquad \text{(XVII.9)}$$

costul total fiind

$$C=c\sqrt{\frac{dQ}{2\,c}}+uQ+\frac{d}{2}\sqrt{\frac{2\,cQ}{d}}+aT=\sqrt{\frac{cdQ}{2}}+uQ+\sqrt{\frac{cdQ}{2}}+aT$$

sau în sfîrşit:

$$C=uQ+\sqrt{2\,cdQ}+aT. \qquad \text{(XVII.10)}$$

b. METODE DE CALCUL PROBABILISTE

Cazul reaprovizionărilor inegale. Metoda deterministă expusă mai înainte se aplică în special la întreprinderile de producţie industrială cu capacitate de lucru constantă şi care îşi păstrează sortimentul.

Condiţiile puse în cazul metodei deterministe nu mai sînt însă satisfăcute în cazul cînd volumul producţiei are fluctuaţii datorită modificării sortimentului sau cînd, chiar în cazul menţinerii sortimentului, consumul specific de materiale variază mult în cursul ciclului de producţie, care are totodată şi o periodicitate lungă.

În asemenea situaţii sînt mai aproape de realitate metodele de calcul probabiliste. Alimentarea stocului se face prin comenzi lunare de acelaşi volum q. Ceea ce variază în această problemă este consumul lunar r, care diminuează stocul. Datorită fluctuaţiilor consumului se întîlnesc trei situaţii posibile:

1) Consumul lunar r_i este egal cu volumul D_i al stocului la începutul lunii respective (fig. XVII.13). La începutul lunii considerate exista un disponibil d_i rezultat dintr-un consum inferior stocului în luna precedentă. Rezultă:

$$D_i=d_i+q. \qquad \text{(XVII.11)}$$

2) Consumul lunar r_i este inferior disponibilului D_i al stocului la începutul lunii respective (fig. XVII.14). La sfîrşitul lunii considerate rezultă un disponibil d_{i+1} a cărui valoare este

$$d_{i+1}=D_i-r_i. \qquad \text{(XVII.12)}$$

3) Consumul lunar r_i este superior disponibilului D_i în stoc la începutul lunii respective (fig. XVII.15). În acest caz, întreprinderea va înregistra o pier-

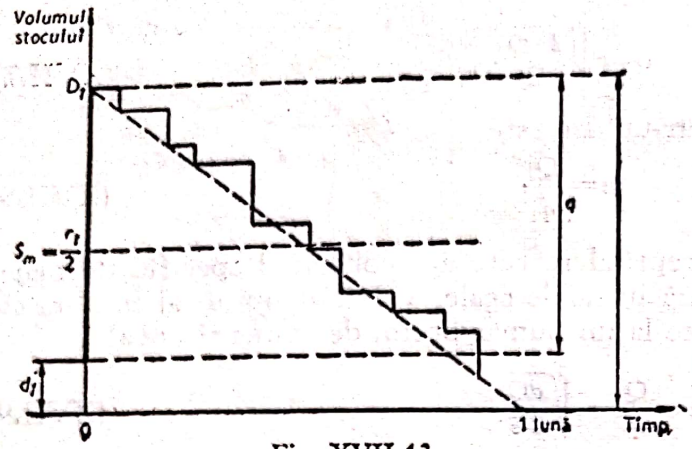


Fig. XVII.13

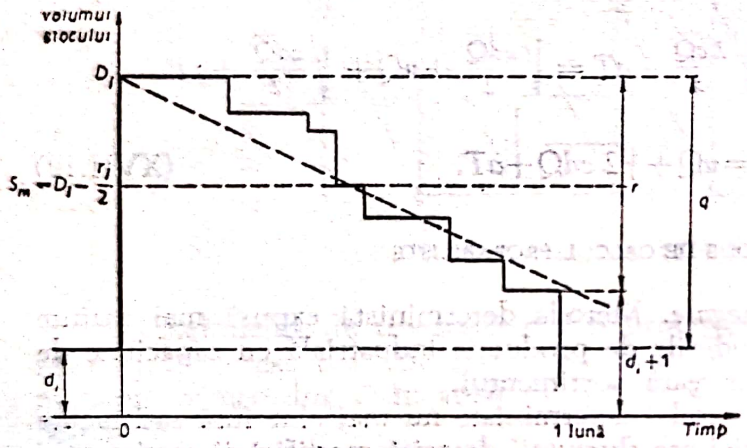


Fig. XVII.14

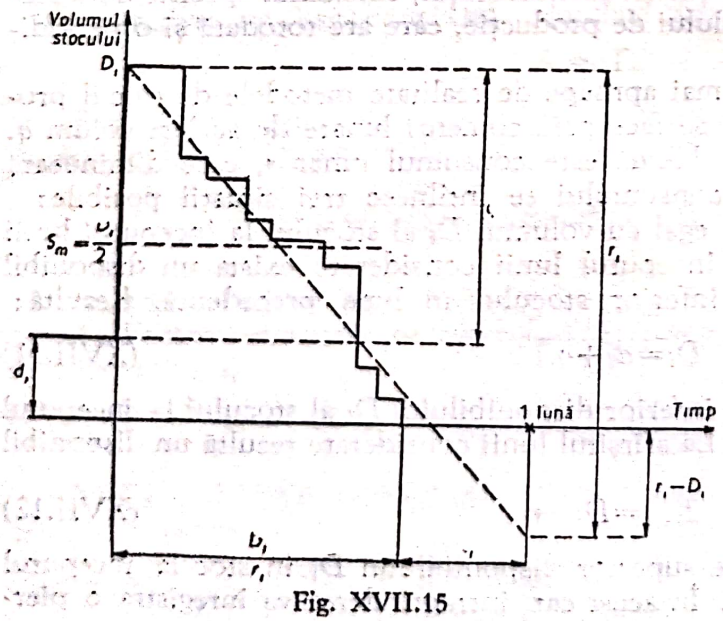


Fig. XVII.15

dere datorită stagnării. În funcție de specificul producției întreprinderii respective pierderea datorită stagnării poate fi:

— proporțională cu neacoperirea stocului

$$C_i^s = K_d (r_i - D_i) \qquad \text{(XVII.13)}$$

în care K_d este pierderea specifică pentru unitatea de materie primă neacoperită de stoc iar C_i^s este cheltuiala datorită stagnării în luna i;

— proporțională cu timpul de stagnare

$$C_i^s = K_t t_i = K_t \left(1 - \frac{D}{r}\right) \qquad \text{(XVII.14)}$$

în care K_t este pierderea specifică pentru unitatea de timp de stagnare iar t_i este timpul de stagnare în luna i datorită lipsei de materie primă în stoc.

În continuare se consideră că volumul consumului lunar poate lua o serie de valori cuprinse între zero și o limită superioară oarecare R. În acest interval acționează o lege de probabilitate $p(r)$ cunoscută pentru cazul concret studiat sau, eventual, înlocuită cu o lege cunoscută, prin similitudine.

Legea de probabilitate poate fi determinată prin observații repetate asupra fluctuațiilor consumului lunar r.

c. REAPROVIZIONAREA LA NIVEL CONSTANT LA INTERVALE EGALE

Se cere să se determine care este volumul D la nivelul căruia trebuie reaprovizionat stocul la începutul fiecărei luni (sau perioade de reaprovizionare), astfel încît cheltuielile de stocaj să fie minime.

Primele două cazuri în care consumul lunar nu este inferior disponibilului în stoc conduc la un stoc mediu de

$$S_m = D - \frac{r}{2}.$$

Cheltuielile de stocaj pe unitatea de măsură a materialului respectiv şi an sînt cunoscute, ridicîndu-se la valoarea de S lei/unitate de măsură şi an. Se ştie de asemenea că stocul se reaprovizionează de n ori într-un an.

Cheltuielile de stocaj în perioada dintre două reaprovizionări succesive vor fi

$$C_i = \frac{s}{n}\left(D - \frac{r}{2}\right). \qquad \text{(XVII.15)}$$

Pentru cazul cînd disponibilul în stoc nu satisface cererea în perioada respectivă, stocul mediu are valoarea de

$$S_m = \frac{D}{2}.$$

Stocul acoperă necesităţile producţiei numai o parte din timp şi anume $\frac{D}{r}$ din perioada respectivă.

Cheltuielile de stocaj în cazul neacoperirii necesităţilor producţiei din disponibilul la începutul perioadei vor fi:

$$C_i = \frac{S}{n} \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{D}{r} = \frac{S}{2n} \cdot \frac{D^2}{r}. \qquad \text{(XVII.16)}$$

Variabila aleatoare r căreia i se asociază probabilitatea $p(r)$ va permite calculul cheltuielilor de stocaj în condiţiile reaprovizionării periodice a stocului la un anumit nivel D.

Pentru a determina valoarea stocului D care face minimă funcţia cheltuielilor de stocaj, se determină din relaţiile (XVII.13), (XVII.14), (XVII.15) şi (XVII.16) speranţa matematică a cheltuielilor de stocaj posibile:

$$C(D) = \frac{S}{n}\sum_{r=0}^{r=D}\left(D - \frac{r}{2}\right) \cdot p(r) + \frac{SD^2}{2n}\sum_{r>D}\frac{p(r)}{r} + \sum_{r>D}\left[K_d(r-D) + K_i\left(1 - \frac{D}{r}\right)\right] p(r). \qquad \text{(XVII.17)}$$

Dîndu-se diferite valori lui D se calculează valoarea funcţiei economice C, soluţia problemei fiind acea valoare a lui D care face minimă relaţia (XVII.17).

Scanned with OKEN Scanner

7. DIMENSIONAREA STOCURILOR DE CIMENT PENTRU O ÎNTREPRINDERE DE CONSTRUCȚII

Se consideră de exemplu cazul unei întreprinderi de construcții care se aprovizionează decadal cu ciment ($n=36$). Cheltuielile de stocaj sînt cunoscute și se ridică la 127 lei/tonă an. Asupra consumurilor de ciment decadale s-au făcut constatări anterioare și s-a tras concluzia că, avînd în vedere frecvența relativă a diferitelor valori, probabilitatea consumurilor este dată de tabelul următor, care corespunde unei legi binominale:

r	0	5	10	15	20	25	30
$p(r)$	0,015	0,095	0,234	0,312	0,234	0,095	0,015

Se cunoaște de asemenea că stagnarea datorită lipsei de ciment provoacă întreprinderii respective (care produce prefabricate din beton armat) pierderi după cum urmează:

— pentru fiecare tonă de ciment lipsă, întreprinderea nu realizează o producție de 8 500 lei pentru care plătește penalizări în valoare de 92 lei;

— pentru fiecare decadă de stagnare din cauza lipsei de ciment, salariul pe 10 zile al celor 12 muncitori de la liniile de turnare a betonului reprezintă o pierdere pentru întreprindere. Aceasta se ridică la 3 800 lei/decadă.

Datele numerice ale problemei sînt:

$$S=127 \text{ lei/tonă} \cdot \text{an};$$
$$n=36;$$
$$K_d=92 \text{ lei/tonă};$$
$$K_t=3\,800 \text{ lei/decadă}.$$

Vom calcula valoarea expresiei (XVII.17) pentru diferite valori ale lui D.

D	$\frac{S}{n}\sum_{0}^{D}\left(D-\frac{r}{2}\right)p(r)$	$\frac{SD^2}{2n}\sum_{r>D}\frac{p(r)}{p}$	$\sum_{r>D}\left[K_d(r-D)+K_t\left(1-\frac{D}{r}\right)\right]p(r)$	$C(D)$
0	0	0	5 144	5 144
5	11	27	3 157	3 195
10	72	66	1 607	1 745
15	215	65	601	881
20	303	32	148	483
25	612	6	16	634
30	794	0	0	794

Valoarea optimă a stocului la începutul fiecărei decade este de 20 t ciment, întrucît ea asigură un minim al costului stocajului.

În exemplul ales se observă importanța cheltuielilor datorită stagnării.

Multe metode de calcul ignoră, pentru simplitatea demonstrațiilor, efectul cheltuielilor de stagnare proporționale cu timpul, întrucît ponderea acestora este extrem de diferită de la un profil de producție la altul.

S-a constatat că, în cazul întreprinderilor industriale cu nivel de automatizare ridicat, efectul indicelui K_t este mult inferior celui realizat în întreprinderile cu grad redus de automatizare.

De aceea, se recomandă a se aplica relația (XVII.17) fără simplificări, atunci cînd se pune o problemă de dimensionare a stocurilor unei întreprinderi de construcții.

Scanned with OKEN Scanner

XVIII

PROBLEME DE UZURĂ, ÎNTREȚINERE ȘI ÎNLOCUIRE A UTILAJELOR

1. VIAȚA UTILAJELOR

a. POLITICA DE ÎNTREȚINERE ÎN EXPLOATAREA UTILAJELOR

Varietatea utilajelor, a condițiilor de lucru, precum și modalitatea diferită de comportare la uzură au făcut ca în privința întreținerii, reparării și înlocuirii utilajelor să se dezvolte numeroase studii care pun la dispoziția conducerii întreprinderilor metode de calcul adecvate.

Totalitatea măsurilor luate pentru asigurarea funcționării parcului de utilaje din dotare definesc *politica de întreținere* a întreprinderii respective în procesul de exploatare a utilajelor.

Este evident că prin conținutul său, politica de întreținere determină metode particulare de calcul aplicabile doar în cadrul acesteia.

Stabilirea unei politici de întreținere și înlocuire a utilajelor în vederea asigurării unei exploatări corespunzătoare, pune în fața conducerii întreprinderilor probleme dificile din punct de vedere economic.

Ca de altfel în toate celelalte capitole ale cercetării operaționale, se pune și aici problema a se alege, din mulțimea metodelor de întreținere posibile, aceea care definește *politica optimă*, în funcție de criteriul de optimizare ales: siguranță în exploatare, cheltuieli minime etc.

Principalele forme de manifestare ale politicii de întreținere a utilajelor sînt:

— depanare la apariția unei avarii; acesta reprezintă de fapt cazul în care nu se urmărește nici o politică de întreținere;

— întreținere curentă;

— întreținere prin înlocuirea sistematică a pieselor cu uzură înaintată;

— întreținere prin repararea pieselor uzate;

— întreținere preventivă, constînd în verificări periodice menite să prevină apariția defecțiunilor de natură să împiedice buna desfășurare a procesului de producție.

b. DEFINIȚII ȘI TERMENI UZUALI ÎN PROBLEMELE DE ÎNTREȚINERE ȘI ÎNLOCUIRE A ECHIPAMENTELOR

De la început trebuie dată o explicație acelor cititori neavertizați, care se vor întreba pentru ce se folosesc unii termeni împrumutați din biologie.

După cum se va constata din lectura paragrafelor următoare, modelele matematice ale problemelor de uzură, întreținere și înlocuire a utilajelor sînt analoge cu modelele matematice ale unor fenomene biologice.

Scanned with OKEN Scanner

Echipamentul simplu este acela constituit dintr-o singură piesă sau dintr-un grup de piese inseparabile.

Echipamentul complex este constituit din mai multe piese distincte.

Viața unui echipament este intervalul de timp cuprins între intrarea în funcțiune a acestui echipament și înlocuirea sa ca urmare a uzurii totale.

Vîrsta unui echipament este intervalul de timp scurs de la punerea în funcțiune a acestuia pînă în momentul observației respective.

Moartea sau *uzura totală* a unui echipament este momentul în care acesta încetează de a-și mai îndeplini rolul funcțional, datorită unei avarii iremediabile.

Prin *populație* se înțelege o mulțime de piese sau echipamente identice supuse unor condiții de lucru cunoscute. Acestor echipamente le sînt proprii *viața* definită ca mai înainte și, urmare evoluției în timp a uzurii, *moartea* unora dintre ele.

Echipamentele, simple sau complexe, reprezintă în această populație *indivizii*.

În evoluția unei populații intervine, rînd pe rînd, moartea unor indivizi. Se numesc *supraviețuitori* acei indivizi încă în viață, adică acele echipamente în stare de funcționare.

Într-o perioadă dată Δt, cuprinsă între momentele $(t-1)$ și t dintr-o populație de N_{t-1} indivizi supraviețuiesc N_t indivizi. Se numește *mortalitate absolută* m_a pentru perioada Δt, diferența

$$m_a = N_{t-1} - N_t \tag{XVIII.1}$$

care arată numărul indivizilor *morți* în perioada Δt. Se definește, de asemenea, pentru aceeași perioadă de timp o *mortalitate relativă* m_r

$$m_r = \frac{N_{t-1} - N_t}{N_0} \tag{XVIII.2}$$

în care N_0 este numărul inițial al indivizilor, la momentul zero.

Vîrsta medie a unui individ din populația considerată este dată de relația

$$\bar{t} = \sum_{t=1}^{\infty} \left[\frac{N_{t-1} - N_t}{N_0} \right] \cdot t. \tag{XVIII.3}$$

c. NUMĂRUL INDIVIZILOR ȘI CURBA SUPRAVIEȚUITORILOR UNEI POPULAȚII DE PIESE

Se consideră că la un moment dat intră în funcțiune o populație de N piese identice. Momentul intrării în funcțiune a pieselor este luat drept originea O a axei timpului. Datorită evoluției în timp, numărul supraviețuitorilor din această mulțime va descrește pînă la zero, după o curbă a supraviețuitorilor a cărei alură este în funcție de caracteristicile de comportare ale pieselor la uzură.

În continuare se vor studia două cazuri limită:

1) Piesele au o comportare *perfect identică* la uzură. În acest caz *toate* piesele vor avea aceeași viață, deci vor ieși din uz în același moment $\bar{t}$, egal totodată cu vîrsta medie.

Scanned with OKEN Scanner

Curba supraviețuitorilor este de formă dreptunghiulară (fig. XVIII.1, *a*). Ordonatele sînt deseori date de raportul dintre numărul supraviețuitorilor N_t și numărul inițial N_0 de indivizi în populație. Acest raport se numește *funcție de supraviețuire* S_t (fig. XVIII.1, *b*).

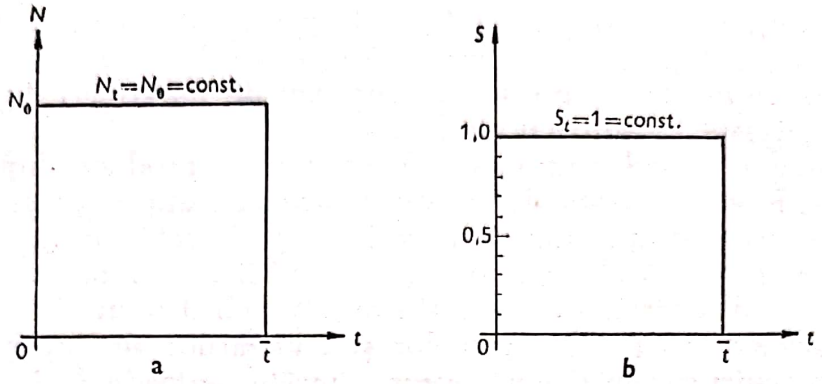


Fig. XVIII.1

Cazul pieselor cu uzură specifică riguros egală nu este interesant pentru studiu, deoarece se determină precis și cu ușurință toate elementele numerice ale politicii de întreținere.

2) La intervale de timp constante iese din funcțiune un număr egal de piese. Funcția de distribuție a supraviețuitorilor S_t este exponențială avînd forma

$$S_t=e^{-\alpha t} \qquad \text{(XVIII.4)}$$

reprezentată grafic în fig. XVIII.2.

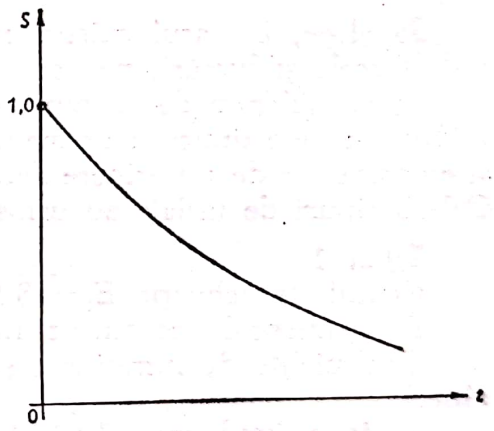


Fig. XVIII.2

Mortalitatea relativă este

$$m_r=\frac{N_{t-1}-N_t}{N_0}=S_{t-1}-S_t=$$
$$e^{-\alpha(t-1)}-e^{-\alpha t}=(e^{\alpha}-1)\cdot e^{-\alpha t}. \qquad \text{(XVIII.5)}$$

Viața medie a pieselor este

$$\bar{t}=\sum_{t=1}^{\infty}\left[\frac{N_{t-1}-N_t}{N_0}\right]t=\sum_{t=1}^{\infty}t\cdot\Delta S$$

ceea ce se mai poate scrie

$$\bar{t}=\int_0^{\infty}t\,ds=-\int_0^{\infty}\alpha e^{-\alpha t}\cdot t\,dt=\frac{1}{\alpha}. \qquad \text{(XVIII.6)}$$

Piesele care sînt caracterizate de relații de distribuții exponențiale ies din uz datorită unei oboseli perfecte.

Cazurile reale se situează între cele două cazuri limită menționate mai înainte.

Scanned with OKEN Scanner

2. MODELE DETERMINISTE

a. STABILIREA MODULUI DE ÎNLOCUIRE A UNUI ECHIPAMENT CU UZURA CUNOSCUTĂ

Prin cunoașterea uzurii se înțelege că, pentru un echipament dat, s-au determinat etapele după care se efectuează operații de întreținere al căror cost este de asemenea cunoscut, precum și numărul de întrețineri după care echipamentul vechi este înlocuit cu altul nou.

Se presupune că înlocuirea echipamentului se produce după n operații de întreținere. Fiecare operație de întreținere are un cost care poate fi determinat în funcție de numărul operației de întreținere și de echipament. Fie i indicele prin care se arată numărul de ordine al înlocuirii de echipament și j indicele care arată numărul operației de întreținere din cadrul unui ciclu de înlocuire.

Costul achiziționării echipamentelor și a lucrărilor de întreținere în condițiile a m înlocuiri sistematice a acestora după n perioade de întreținere este:

$$K=\sum_{i=1}^{m}\left(E_i+\sum_{j=1}^{n}C_{ij}\right) \qquad \text{(XVIII.7)}$$

în care: E_i este costul de achiziție al echipamentului la înlocuirea numărul i

C_{ij} — costul operației de întreținere numărul j pentru echipamentul înlocuit i.

Costul mediu de revenire pentru o perioadă de întreținere este

$$\bar{k}=\frac{K}{mn}=\frac{1}{mn}\sum_{i=1}^{m}\left(E_i+\sum_{j=1}^{n}C_{ij}\right). \qquad \text{(XVIII.8)}$$

Se alege, în cazul existenței mai multor tipuri de echipamente care pot realiza aceleași lucrări, pe acela care face minimă relația (XVIII.8).

Să considerăm de exemplu, că se pune problema înlocuirii unui utilaj și se dispune de 5 tipuri de asemenea echipamente, cunoscute din punct de vedere al cheltuielilor de întreținere datorită măsurătorilor statistice efectuate anterior. Cele 5 tipuri de utilaje au următoarele caracteristici:

Tipul 1

Costul de achiziție $E_1=48\,500$ lei.

Echipamentul iese din uz după doi ani.

Cheltuielile de întreținere și reparare în cursul celor doi ani de folosire sînt:

— în primul an 7 400 lei;
— în al doilea an 10 300 lei.

Tipul 2

Costul de achiziție 57 000 lei.

Echipamentul iese din uz după trei ani.

Cheltuielile de întreținere și reparare în acest timp sînt:

— în primul an 12 100 lei;
— în al doilea an 14 500 lei;
— în al treilea an 16 300 lei.

Scanned with OKEN Scanner

Tipul 3

Costul de achiziție 62 200 lei.
Echipamentul iese din uz după trei ani.
Cheltuielile de întreținere și reparare în acest timp sînt:
— în primul an 7 600 lei;
— în al doilea an 8 300 lei;
— în al treilea an 9 500 lei.

Tipul 4

Costul de achiziție 68 000 lei.
Echipamentul iese din uz după patru ani.
În acest timp se fac următoarele cheltuieli de întreținere și reparare:
— în primul an 7 100 lei;
— în al doilea an 7 900 lei;
— în al treilea an 8 700 lei;
— în al patrulea an 9 500 lei.

Tipul 5

Costul de achiziție 75 000 lei.
Echipamentul iese din uz după patru ani.
În acest timp se fac următoarele cheltuieli de întreținere și reparare:
— în primul an 6 600 lei;
— în al doilea an 7 250 lei;
— în al treilea an 7 850 lei;
— în al patrulea an 8 500 lei.

Aplicînd relația (XVIII.8) se calculează costul mediu de revenire pentru un an de întreținere:

Pentru tipul 1

$$\overline{k_1} = \frac{1}{2}(48\,500 + 7\,400 + 10\,300) = 33\,100 \text{ lei.}$$

Pentru tipul 2

$$\overline{k_2} = \frac{1}{3}(57\,000 + 12\,100 + 14\,500 + 16\,300) = 33\,300 \text{ lei.}$$

Pentru tipul 3

$$\overline{k_3} = \frac{1}{3}(62\,200 + 7\,600 + 8\,300 + 9\,500) = 29\,200 \text{ lei}$$

Pentru tipul 4

$$\overline{k_4} = \frac{1}{4}(68\,000 + 7\,100 + 7\,900 + 8\,700 + 9\,500) = 25\,300 \text{ lei.}$$

Scanned with OKEN Scanner

Pentru tipul 5

$$\overline{k_5} = \frac{1}{4}(57\,000+6\,600+7\,250+7\,850+8\,500)=26\,300 \text{ lei.}$$

În urma acestor calcule, se alege pentru înlocuirea utilajului tipul 4 de echipament, care conduce la un cost mediu anual de revenire minim.

b. POLITICA DE ÎNTREȚINERE PRIN ÎNLOCUIREA SISTEMATICĂ A ECHIPAMENTELOR CU UZURĂ ÎNAINTATĂ. STABILIREA MOMENTULUI OPTIM DE ÎNLOCUIRE A UTILAJELOR UZATE

Costul de achiziție și de întreținere a unui utilaj este legat de o serie de taxe (dobînzi pentru fondurile creditate, taxe de amortisment) care se aplică sumelor respective. Se presupun toate aceste taxe cumulate într-un coeficient unic d.

Evident, dacă pentru un echipament se plătește la achiziție o sumă E și în decursul unei perioade de timp nu se mai consumă alte fonduri, el revine mai scump la sfîrșitul acestei perioade datorită taxelor, decît un alt utilaj similar pentru care se plătește aceeași sumă în final, dar eșalonată de exemplu într-o parte E_0 care se achită la achiziție și altă parte E_1 care se achită la sfîrșitul perioadei considerate.

Cuprinderea în calcule a efectului pozitiv al eșalonării cheltuielilor în timp, ca urmare a taxelor care se aplică fondurilor, se numește de obicei *actualizare a costurilor* și corespunde situației în care, la fondurile economisite se aplică dobînzi.

Se presupune un echipament a cărui înlocuire este prevăzută — ca urmare unor măsurători statistice anterioare asupra unor echipamente identice — să fie efectuată după n perioade de întreținere.

Costurile previzibile pentru perioadele respective sînt notate $C_1, C_2, \ldots, C_n$. Se presupune că aceste costuri sînt monoton crescătoare, deoarece numai un asemenea mod de variație a costurilor de întreținere ar putea determina o decizie de înlocuire a echipamentului.

Costurile actualizate vor fi date de relațiile

$$K_1 = \frac{E+C_1}{(1+d)^0} + \frac{C_2}{(1+d)^1} + \frac{C_3}{(1+d)^2} + \cdots + \frac{C_n}{(1+d)^{n-1}}$$

$$K_2 = \frac{E+C_1}{(1+d)^n} + \frac{C_2}{(1+d)^{n+1}} + \frac{C_3}{(1+d)^{n+2}} + \cdots + \frac{C_n}{(1+d)^{2n-1}}$$

$$\vdots$$

$$K_i = \frac{E+C_1}{(1+d)^{n(i-1)}} + \frac{C_2}{(1+d)^{n(i-1)+1}} + \cdots + \frac{C^n}{(1+2)^{ni-1}}$$

în care $K_1, K_2, \ldots, K_i, \ldots$ sînt costurile actualizate aferente primei, celei de a doua, respectiv celei de a i-a înlocuire de echipament.

Scanned with OKEN Scanner

Costul actualizat total va fi

$$K=\sum_{1}^{\infty} K_t=\left[E+\sum_{j=1}^{n}\frac{C_j}{(1+d)^{j-1}}\right]\left[1+\frac{1}{(1+d)^n}+\frac{1}{(1+d)^{2n}}+\cdots+\frac{1}{(1+d)^{ni}}+\cdots\right]=$$

$$=\frac{E+\sum_{j=1}^{n}\frac{C_j}{(1+d)^{j-1}}}{1-\frac{1}{(1+d)^n}}=\frac{E+\sum_{j=1}^{n}\gamma^{j-1}\cdot C_j}{1-\gamma^n} \qquad \text{(XVIII.9)}$$

în care

$$\gamma=\frac{1}{1+d}\cdot$$

Se demonstrează că valoarea lui n care determină momentul optim de înlocuire a echipamentului este aceea care verifică prima dată relația

$$C_{n+1}>\frac{E+\sum_{i=1}^{n} C_i\gamma^{i-1}}{\sum_{i=1}^{n}\gamma^{i-1}}\cdot \qquad \text{(XVIII.10)}$$

Exemplu de stabilire a momentului optim de înlocuire, la autocamioanele unei întreprinderi. Relația (XVIII.10) nu permite determinarea directă a numărului de perioade de întreținere după care este mai economică înlocuirea echipamentului, decît menținerea în exploatare a acestuia cu întrețineri costisitoare.

Stabilirea acestui moment optim se face dînd lui n valori succesive, pînă la îndeplinirea criteriului dat prin relația (XVIII.10).

Să presupunem că ne-am propus să determinăm momentul optim de înlocuire al autocamioanelor existente în parcul de mașini al unei întreprinderi. Se cunosc:

— costul de achiziție al unui autocamion 84 000 lei;
— dobînzi, taxe cumulate 8,5%.

Cheltuielile de întreținere anuale sînt date în tabelul XVIII.1 care cuprinde toate fazele de calcul. În prealabil se calculează valoarea

$$\gamma=\frac{1}{1+d}=\frac{1}{1{,}085}=0{,}9216.$$

Se observă că momentul optim de înlocuire a autocamioanelor la această întreprindere este după 6 ani de activitate.

3. MODELE DE CALCUL PROBABILISTE

a. PROBABILITATEA DE SUPRAVIEȚUIRE ȘI PROBABILITATEA DE AVARIE

Referitor la modul în care s-a definit în paragraful 1, *c* al acestui capitol funcția de supraviețuire, se observă că în cazul în care N_t este o variabilă aleatoare, *funcția de supraviețuire a unei populații de echipamente identice este însăși probabilitatea de supraviețuire a acesteia*:

$$p_s(t)=S_t \qquad \text{(XVIII.11)}$$

Tabelul XVIII.1

Determinarea momentului optim de înlocuire a autocamioanelor la o întreprindere

Anul	Costurile anuale C_i	γ^{i-1}	$C_i\,\gamma^{i-1}$	$E+\sum C_i\,\gamma^{i-1}$	$\sum \gamma^{i-1}$	$\frac{E+\sum_{i=1}^{n} C_i\,\gamma^{i-1}}{\sum_{i=1}^{n} \gamma^{i-1}}$
1	4 100	1	4 100	88 100	1	88 100
2	5 300	0,9216	4 884	92 984	1,9216	48 500
3	6 800	0,8493	5 775	98 759	2,7709	35 500
4	8 600	0,7827	6 731	105 490	3,5536	29 600
5	10 300	0,7213	7 430	112 920	4,2749	27 650
6	18 000	0,6647	11 965	124 885	4,9396	25 500
7	28 000	0,6126	17 155	142 040	5,5522	25 600
8	34 000	0,5645	19 193	161 233	6,1167	26 400

ceea ce înseamnă că, dintr-o populație de N_0 piese puse în funcțiune în același moment, după o perioadă de timp t este probabil să mai rămînă în funcțiune $p_s(t)\,N_0$ indivizi.

Dacă se notează cu τ variabila aleatoare care reprezintă durata de viață a echipamentului, se pot defini următoarele probabilități:

— probabilitatea de supraviețuire a echipamentului o durată de timp t este dată de relația:

$$p_s(\tau>t)=\frac{N_t}{N_0}=S_t; \qquad \text{(XVIII.11 } a\text{)}$$

— probabilitatea ca echipamentul să aibă o durată de viață de maximum t, cu alte cuvinte probabilitatea evenimentului contrar celui definit prin (XVIII.11 a), este:

$$p_d(\tau<t)=\frac{N_0-N_t}{N_0}=1-\frac{N_t}{N_0}=1-S_t. \qquad \text{(XVIII.12)}$$

Din această relație, care determină funcția de repartiție probabilistă a duratei de viață a echipamentului, se calculează mortalitatea relativă sau probabilitatea de avariere

$$m_r(t)=\frac{N_{t-1}-N_t}{N_0}=p_a(t); \qquad \text{(XVIII.13)}$$

— probabilitatea de avariere a unui echipament în intervalul $(t-1)$ la t, condiționată deci de existența acestuia în stare de funcționare la finele etapei $(t-1)$ se determină observînd că în intervalul considerat ies din uz $N_{t-1}-N_t$ echipamente din cele N_{t-1} existente la începutul perioadei considerate. Probabilitatea condiționată de avariere în intervalul $(t-1)$ la t este:

$$p_c(t)=\frac{N_{t-1}-N_t}{N_{t-1}}=1-\frac{N_t}{N_{t-1}}=1-\frac{S_t}{S_{t-1}}. \qquad \text{(XVIII.14)}$$

Stabilirea valorilor probabilităților enunțate mai înainte pentru cazurile concrete care se ivesc în practică, se face prin observații și măsurători statistice la echipamente identice.

Ca exemplu, se dă în tabelul XVIII.2 calculul probabilităților de supraviețuire, de durată de viață, de avariere și de avariere condiționată, ca urmare a observațiilor făcute asupra comportării în exploatare a unei populații de 1 000 roabe simple pe șantierele unui trust de construcții.

Tabelul XVIII.2

Calculul valorilor probabilităților de supraviețuire, de durată de viață, de avariere (mortalitate relativă) și de avariere condiționată pentru un lot de 1 000 roabe

Vîrsta în trimestre t	Numărul supraviețuitorilor N_t	Probabilitatea de supraviețuire $p_s(\tau>t)=S_t$	Probabilitatea de viață $p_d(\tau>t)=1-S_t$	Probabilitatea de avarie $p_a(t)=\frac{N_{t-1}-N_t}{N_0}$	Probabilitatea de avarie condiționată $p_c(t)=\frac{S_t}{S_{t-1}}$
0	1 000	1	0	0	0
1	995	0,995	0,005	0,005	0,0050
2	987	0,987	0,013	0,008	0,0080
3	972	0,972	0,028	0,015	0,0152
4	941	0,941	0,059	0,031	0,0319
5	903	0,903	0,097	0,038	0,0404
6	828	0,828	0,172	0,075	0,0781
7	709	0,709	0,291	0,119	0,1437
8	587	0,587	0,413	0,122	0,1721
9	405	0,405	0,595	0,182	0,3101
10	283	0,283	0,717	0,122	0,3012
11	201	0,201	0,799	0,082	0,2897
12	122	0,122	0,878	0,079	0,3930
13	59	0,059	0,941	0,063	0,5163
14	11	0,011	0,989	0,048	0,8135
15	0	0	1,000	0,011	1,0000
15	0	0	1,000	0	Nu mai sînt supraviețuitori

Pentru analiza statistică a datelor din tabelul precedent se întocmește un nou tabel (tabelul XVIII.3) în care se calculează:

— vîrsta medie de apariție a unei avarii

$$\bar{t}=\sum_{t=1}^{\infty}=t\cdot p_a(t); \qquad \text{(XVIII.15)}$$

— abaterea medie pătratică a vîrstei de avariere

$$\sigma^2=\sum_{t=1}^{\infty}(\bar{t}-t)^2\,p_a(t) \qquad \text{(XVIII.16)}$$

și din aceasta, abaterea medie:

$$\sigma=\sqrt{\sum_{t=1}^{\infty}(\bar{t}-t)^2 p_a(t)}.$$

Tabelul XVIII.3

Calculul vîrstei medii de avariere și a abaterii medii a vîrstei de apariție a avariilor

Vîrsta în trimestre t	Probabilitatea de avarie $p_a(t)$	$t \cdot p_a(t)$	$\bar{t}-t$	$(\bar{t}-t)^2 p_a(t)$
1	0,005	0,005	8	0,320
2	0,008	0,016	7	0,392
3	0,015	0,045	6	0,540
4	0,031	0,124	5	0,775
5	0,038	0,190	4	0,608
6	0,075	0,450	3	0,675
7	0,119	0,833	2	0,476
8	0,122	0,976	1	0,122
9	0,182	1,638	0	0
10	0,122	1,220	—1	0,122
11	0,082	0,902	—2	0,328
12	0,079	0,948	—3	0,711
13	0,063	0,819	—4	1,008
14	0,048	0,672	—5	1,200
15	0,011	0,165	—6	0,396
15	0	0	—7	0
		9,003		7,673

Din acest tabel rezultă pentru exemplul considerat:

— vîrsta medie de apariție a avariilor

$$\bar{t}=9 \text{ trimestre};$$

— dispersia variabilei aleatoare τ

$$\sigma^2=7{,}673;$$

— abaterea medie a vîrstei de apariție a avariei

$$\sigma=\sqrt{7{,}673}\approx 2{,}44.$$

b. ÎNLOCUIREA ECHIPAMENTELOR AVARIATE

Sînt frecvente cazurile în care, datorită caracteristicilor funcționale ale echipamentelor, nu poate fi vorba de o politică de întreținere. De exemplu, becurile electrice dintr-o întreprindere, supapele motoarelor autocamioanelor, semiconductoarele unei instalații de automatizare etc., a căror ieșire din uz nu poate fi prevenită prin operații de întreținere sau depanare.

Nu se urmărește o politică de întreținere nici atunci cînd, datorită costurilor ridicate ale operațiilor de întreținere, unele echipamente sînt utilizate pînă la epuizare.

În toate aceste cazuri, problema de înlocuire a echipamentelor se pune ca în exemplul următor:

O întreprindere are în dotare grupuri convertizoare pentru executarea sudurilor pe șantiere. Pentru nevoile producției este necesară menținerea în permanentă stare de funcționare a tuturor convertizoarelor din dotare. Serviciul de întreținere trebuie să asigure înlocuirea cărbunilor colectori în așa fel încît convertizoarele să nu stagneze. Care este numărul de piese (cărbuni colectori, în cazul nostru) care trebuie înlocuit în fiecare perioadă de timp (decadă, de exemplu), pentru a menține toate convertizoarele în stare de funcționare?

Se observă că înlocuirea pieselor avariate într-un interval de timp oarecare t, nu se face prin schimbarea tuturor pieselor defecte la sfîrșitul perioadei respective, ci prin înlocuirea acestora în mod continuu, pe măsura apariției defectelor, pe parcursul intervalului de timp considerat.

Apare posibilitatea ca, din totalul pieselor înlocuite în perioada t, unele să provină din piese care au fost schimbate chiar în cursul aceleiași perioade de timp. Această problemă poate fi abordată fără a face uz de probabilitatea compusă a consumării pieselor în intervale de timp fracționare față de perioada t considerată.

Dacă se cunoaște funcția de supraviețuire a echipamentului respectiv și se consideră că în fiecare unitate de timp se măsoară numărul n_i de piese care se înlocuiește la sfîrșitul fiecărei unități de timp, se poate scrie că, la sfîrșitul perioadei t:

— din primele N piese care s-au pus în funcțiune în momentul inițial, vor supraviețui NS_t piese;

.....

— din cele n_1 piese care s-au înlocuit după prima unitate de timp, vor supraviețui $n_1 S_{t-1}$ piese;

— din cele n_i piese care s-au înlocuit după trecerea unui număr de i unități de timp, vor supraviețui $n_i S_{t-i}$ piese;

.....

— toate cele n_t piese înlocuite după trecerea unui număr de t unități de timp (sfîrșitul perioadei t) vor supraviețui.

Deoarece înlocuirea pieselor uzate s-a făcut în vederea menținerii constante a numărului N de piese în stare de funcționare *în orice moment*, suma supraviețuitorilor la sfîrșitul fiecărei perioade este egală cu N:

$$N = NS_t + n_1 S_{t-1} + n_2 S_{t-2} + \cdots + n_i S_{t-i} + \cdots + n_{t-1} S_1 + n_t$$

de unde rezultă, considerînd $n_0 = N$:

$$n_t = N - \sum_{i=0}^{t=1} n_i S_{t-i} \qquad \text{(XVIII.17)}$$

sau, ținînd seama de relația (XVIII.13),

$$n_t = N\left[1 - \sum_{i=0}^{t-1} p_{(a)_i} S_{t-i}\right]. \qquad \text{(XVIII.18)}$$

Fiecare termen de sub semnul sumei din expresia (XVIII.17) reprezintă numărul de piese avînd vîrsta $t-i$.

Se ia ca exemplu calculul înlocuirii bujiilor pentru autocamioane, dintr-un lot de 1 000 buc. Funcția de supraviețuire a fost calculată prin măsurători statistice asupra unui lot identic pus în exploatare anterior. Calculele sînt sistematizate în tabelul XVIII.4.

Tabelul XVIII.4

Calculul înlocuirii bujiilor avariate (coloana 0) cu condiția menținerii în funcțiune a unui număr constant de bujii

Trimestrul	Comportarea lotului experimental			0	1	2	3	4	5
	Numărul de supraviețuitori N_s	Funcția de supraviețuire S_t	Probabilitatea de avarie $p(a)$	(numărul bujiilor care se înlocuiesc)					
0	1 000	1	0	1 000					
1	875	0,875	0,125	125	875				
2	708	0,708	0,167	182	110	708			
3	503	0,503	0,205	249	159	89	503		
4	301	0,301	0,202	290	218	128	63	301	
5	125	0,125	0,176	316	254	176	92	37	125
6	0	0	0,125	322	278	205	125	55	15
7	0	0		251	282	223	146	75	23
8				286	220	227	159	87	31
9				280	250	177	162	95	36
10				292	244	202	126	97	39
11				289	255	197	144	75	40
12				284	253	206	140	86	31
13				281	249	204	146	84	36
14				288	245	200	145	87	35
15				284	252	198	143	87	36

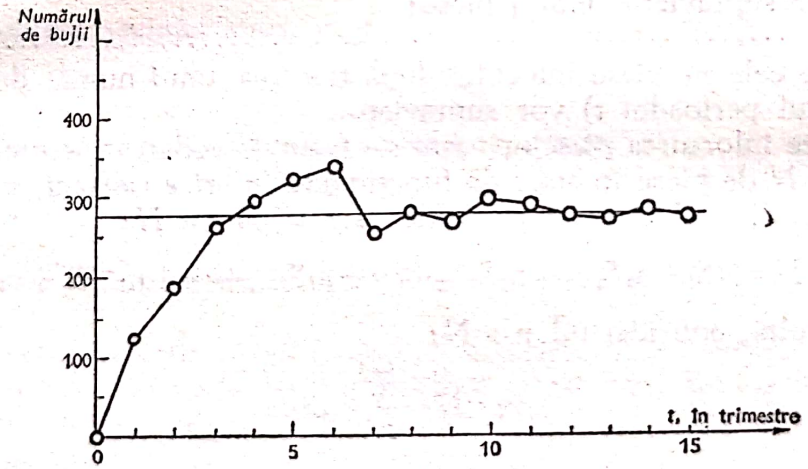


Fig. XVIII. 3

Se observă că, după un anumit timp, numărul bujiilor care se înlocuiesc trimestrial se stabilizează în jurul cifrei de 280 bucăți.

Reprezentarea grafică a acestei probleme este dată în fig. XVIII.3.

Scanned with OKEN Scanner

XIX

PROBLEME DE DECIZIE

1. INFORMAȚIE ȘI DECIZIE

a. GENERALITĂȚI

Toate metodele studiate în capitolele precedente au avut ca obiectiv alegerea, din mulțimea tuturor soluțiilor posibile, a unei soluții care să satisfacă un criteriu de optimum stabilit. Privite din acest punct de vedere, toate aceste probleme conduc la determinarea unei soluții care servește la luarea unei decizii.

Prin *decizie* se înțelege luarea unei hotărîri asupra acțiunilor care trebuie întreprinse în vederea îndeplinirii unui obiectiv.

Problemele concrete ale activității de conducere sînt în fond secvențe de probleme complexe de decizie.

Acțiunile care compun o problemă de decizie sînt de două feluri:

— acțiuni libere, care se datoresc alegerii conștiente a acestora dintre toate acțiunile posibile în conjuctura dată;

— acțiuni întîmplătoare, la care alegerea se face întîmplător.

Luarea unei decizii este influențată de cantitatea de informație care este la dispoziție.

Se spune că *informația este completă* dacă sînt cunoscute toate mărimile care participă la elaborarea deciziei, toate acțiunile luate și toate comportările obiectivului în etapele precedente luării deciziei.

Astfel, conducătorul unei întreprinderi care ia o decizie privind mutarea unor utilaje de la un șantier la altul, dispune de o informație completă în procesul de elaborare a deciziei deoarece este încunoștiințat asupra necesarului de utilaje ale ambelor șantiere precum și asupra efectului avut de activitatea utilajelor la cele două șantiere în situațiile precedente luării deciziei.

În cazul cînd nu se cunosc toate mărimile care participă la luarea deciziei, toate acțiunile și toate comportările obiectivului în etapele precedente luării deciziei, se spune că *informația este parțială.*

Este suficient ca, în exemplul dat mai înainte, conducătorul întreprinderii respective să nu fie informat asupra necesarului de utilaje al unuia din șantiere sau să nu cunoască modul în care au fost exploatate utilajele la unul sau la ambele șantiere pînă în acel moment, pentru a se găsi în situația unei informații parțiale.

Desfășurarea evenimentelor face ca rezolvarea problemelor practice să nu fie posibilă în general printr-o singură decizie.

Este vorba de o problemă de decizie atunci cînd, cunoscînd o anumită clasă de informații, sînt posibile mai multe acțiuni.

Scanned with OKEN Scanner

Aceste posibilități se numesc *alternative*.

Luarea unei decizii comportă deci alegerea unei alternative. Desfășurarea ulterioară a evenimentelor determină o nouă clasă de informații, o nouă decizie.

Ansamblul de reguli care asociază cîte o alternativă fiecărei clase de informații se numește *strategie*.

Se observă că problemele de decizie din domeniul organizării științifice a producției sînt similare jocurilor, conducătorul organismului putînd fi considerat ca un *jucător*.

Partenerii de joc pot fi:

— organismul economic pe care îl conduce;
— alte organisme economice cu care acesta are relații;
— natura, adică totalitatea condițiilor în care se desfășoară fenomenul economic al procesului analizat.

După cum s-a arătat în partea întîi, anumiți parteneri sînt *rați*onali, iau ei înșiși decizii conștiente (de exemplu alte organisme).

Alți parteneri sînt *irați*onali, inconștienți, cum sînt organismul condus și natura.

În cele ce urmează vor fi tratate cazurile jocurilor cu parteneri irați*o*nali.

Fiecare decizie a jucătorului produce un răspuns al partenerului, care la rîndu-i face necesară o nouă decizie a jucătorului. Secvența deciziilor formează strategia jucătorului respectiv.

b. MODELUL PROBLEMELOR DE DECIZIE

Comportarea naturii poate fi caracterizată prin mai multe stări posibile, numite *stări ale naturii*. De exemplu, din punct de vedere al asprimii unei ierni se pot considera următoarele stări:

— starea 1: nici-o zi cu temperatura sub −5°C;
— starea 2: 10 zile cu temperatura sub −5°C;
— starea 3: 20 zile cu temperatura sub −5°C;
— starea 4: 30 zile cu temperatura sub −5°C.

În cazul în care se analizează problema recrutării forței de muncă din zona unui șantier care urmează a fi deschis, se pot lua în considerare următoarele stări:

— starea 1: pot fi recrutați sub 500 muncitori;
— starea 2: pot fi recrutați între 500 și 1000 muncitori;
— starea 3: pot fi recrutați între 1 000 și 1 500 muncitori;
— starea 4: pot fi recrutați peste 1 500 muncitori.

Fiecărei stări E_i îi corespunde o soluție a problemei, d_i. Alegerea uneia din alternativele d_i se face ținînd seama de anumite criterii, de obicei economice. Se pot ivi următoarele cazuri:

Siguranță. Natura, în conjuctura dată, poate apare numai într-una din stările posibile, fie aceasta E_j.

În acest caz nu poate fi vorba de luarea vreunei decizii, deoarece singura aplicabilă este d_j

Probabilitate. Fiecare stare posibilă E_i poate să se producă cu o probabilitate oarecare cunoscută, p_i. Se pune problema luării unei decizii, de a acționa conform uneia din soluțiile d_i, care să conducă la cea mai economică rezolvare probabilă.

Incertitudine. Nu se cunoaște nici o probabilitate de apariție a diferitelor stări E_i ale procesului de producție. Se pune problema luării unei decizii care să realizeze criteriul de risc minim.

c. CRITERII DE LUARE A DECIZIILOR

Despre procesul analizat se știe că, într-o etapă viitoare se va găsi într-una din stările E_i. Pentru a asigura producția în stările respective, sînt necesare măsurile d_i. Ce decizie va lua conducătorul unității, cu alte cuvinte, pentru ce stare E_i se va pregăti?

Să presupunem că toate stările E_i sînt la fel de probabile. Se întocmește tabloul beneficiilor b_{ij} așteptate a se realiza în cazul apariției stării E_i ($i=1, 2, ..., n$) în cazul în care s-ar lua decizia d_j ($j=1, 2, ..., n$) (tabelul XIX.1).

Este lesne de înțeles că fiecare decizie d_i realizează beneficiul maxim pentru starea E_i corespunzătoare. Însă, în situația că s-a luat decizia d_i dar s-a produs starea E_j, se obține

$$b_{ij} \leqslant b_{jj}.$$

Diagonala principală a matricei $|b_{ij}|$ conține deci elementele maxime de pe liniile și coloanele respective.

Tabelul XIX.1

Matricea beneficiilor care se realizează luînd decizi corespunzătoare tuturor stărilor posibile ale unui proces de producție

d	E						
	E_1	E_2	.....	E_i	E_j	.....	E_n
d_1	b_{11}	b_{12}	.....	b_{1i}	b_{1j}	.....	b_{1n}
d_2	b_{21}	b_{22}	.....	b_{2i}	b_{2j}	.....	b_{2n}
⋮	⋮						
d_i	b_{i1}	b_{i2}	.....	b_{ii}	b_{ij}	.....	b_{in}
⋮	⋮						
d_n	b_{n1}	b_{n2}	.....	b_{ni}	b_{nj}	.....	b_{nn}

Se calculează valorile beneficiilor pentru fiecare decizie luată:

$$\bar{b}_i = \sum_{j=1}^{n} b_{ij}. \tag{XIX.1}$$

În continuare se vor enumera cîteva criterii pentru alegerea uneia din alternative.

Criteriul beneficiului maxim. Se ia acea decizie d_k pentru care corespunde cel mai mare beneficiu

$$\bar{b}_k = \max_{1 \leqslant i \leqslant n} \bar{b}_i. \tag{XIX.2}$$

Acest criteriu, cunoscut sub numele de *criteriul lui Laplace*, este cel mai riscant, deoarece numai în cazul cînd se produce starea k se realizează un beneficiu maxim.

Criteriul prudenței maxime. Se alege decizia d_k corespunzătoare elementului

$$b_{k1} = \max_{1 \leqslant i \leqslant n} \min_{1 \leqslant j \leqslant n} b_{ij}. \tag{XIX.3}$$

Luarea deciziei d_k va conduce la realizarea unui beneficiu mai mare sau cel puțin egal cu b_{k1}, indiferent de starea E_i în care se va situa procesul de producție. Acesta este *criteriul lui Wald.*

Criteriul optimismului cunoscut (Hurwicz). Rezultat din observația că pot exista situații intermediare între criteriile lui Laplace și al lui Wald, criteriul lui Hurwicz alege decizia d_k corespunzătoare expresiei:

$$f_k = \max_{1 \leqslant i \leqslant n} f_i \tag{XIX.4}$$

în care:

$$f_i = \alpha \max_{1 \leqslant j \leqslant n} b_{ij} + (1-\alpha) \min_{1 \leqslant j \leqslant n} b_{ij}$$

α fiind un coeficient de optimism. Se observă că în cazul limită $\alpha = 0$, se realizează criteriul lui Wald.

Criteriul regretului minim. Dacă s-a luat o decizie oarecare d_i dar se produce o altă stare E_j, nu se va obține beneficiul maxim b_{jj} posibil stării acesteia, ci un alt beneficiu b_{ij}, inferior. Se numește *regret* diferența

$$r_{ij} = b_{jj} - b_{ij} \tag{XIX.5}$$

între beneficiul maxim posibil stării realizate și cel obținut prin decizia luată.

Fiecărei decizii i îi corespunde un regret maxim

$$r_i = \max_{1 \leqslant j \leqslant n} r_{ij}. \tag{XIX.6}$$

Se alege acea decizie d_k pentru care

$$r_k = \min_{1 \leqslant i \leqslant n} \quad r_i = \min_{1 \leqslant i \leqslant n} \operatorname{mas}_{1 \leqslant j \leqslant n} (b_{jj} - b_{ij})$$

cu alte cuvinte, care cauzează regrete minime față de posibilități. Acesta este *criteriul lui Savage.*

2. IPOTEZE ALEATOARE

Adaptarea criteriilor de luare a deciziilor. Criteriile de selectare a alternativei analizate în paragraful 1,c al acestui capitol pot fi adaptate şi cazului în care stările E_i ale procesului studiat pot apărea cu probabilităţile p_i.

În acest caz în locul termenilor b_{ij} din matricea beneficiilor, vor apărea termenii

$$b'_{ij}=p_j b_{ij} \tag{XIX.7}$$

iar relaţia (XIX.1) care determină valoarea medie a beneficiului pentru o decizie oarecare, va fi înlocuită cu relaţia

$$\bar{b}_i=\sum_{j=1}^{n} b'_{ij}=\sum_{j=1}^{n} p_j b_{ij} \tag{XIX.8}$$

care dă speranţa matematică a beneficiului realizabil prin decizia i.

Prin aceasta, criteriile analizate anterior în ipoteza stărilor echiprobabile devin:

Criteriul beneficiului maxim. Se ia decizia d_k pentru care

$$\bar{b}'_k=\max_{1\leqslant i\leqslant n}\sum_{j=1}^{n} p_j b_{ij}. \tag{XIX.9}$$

Criteriul prudenţei maxime. Se ia decizia d_k corespunzătoare elementului

$$b_{kl}=\max_{1\leqslant i\leqslant n}\ \min_{1\leqslant j\geqslant n} p_j b_{ij}. \tag{XIX.10}$$

Criteriul optimismului cunoscut. Se alege decizia d_k corespunzătoare expresiei:

$$f'_k=\max_{1\leqslant i\leqslant n} f'_i \tag{XIX.11}$$

în care:

$$f'_i=\alpha\max_{1\leqslant j\leqslant n} p_j b_{ij}+(1-\alpha)\min_{1\leqslant i\leqslant n} p_j b_{ij}. \tag{XIX.12}$$

Criteriul regretului minim. Se alege decizia d_k pentru care

$$r_k=\min_{1\leqslant i\leqslant n}\ \max_{1\leqslant j\leqslant n} p_j(b_{jj}-b_{ij}). \tag{XIX.13}$$

3. NOŢIUNI DE TEORIA JOCURILOR

Teoria jocurilor este teoria matematică a situaţiilor conflictuale. Aceste situaţii pun în faţă două sau mai multe părţi numite *parteneri* de joc care îşi propun fiecare *cîştigarea* jocului. Cum jocul nu poate fi cîştigat decît de unul din parteneri, acţiunile acestora se desfăşoară de obicei în două sensuri:

— să îşi apropie cîştigul;

— să îndepărteze cîştigul de ceilalţi parteneri.

Teoria jocurilor caută să elaboreze cele mai raţionale strategii pentru fiecare din parteneri. Cum situaţiile conflictuale ale proceselor reale sînt complexe, este dificil de elaborat o strategie riguros matematică în aceste cazuri. S-a convenit a se neglija toţi factorii secundari şi să se construiască modele simplificate şi formale ale acestor conflicte, numite în general *jocuri*.

Scanned with OKEN Scanner

Prin noțiunea de partener nu trebuie să se înțeleagă că este vorba de o persoană fizică, ci doar că regulile jocului grupează jucătorii în mulțimi disjuncte, fiecare din acestea constituind un partener în accepția teoriei jocurilor.

Cu precizarea că acțiunile, definite în paragraful referitor la decizie, se mai numesc în teoria jocurilor și *mutări*, se vor analiza în continuare cîteva categorii de jocuri al căror model matematic va servi celor care își propun să rezolve problemele complexe de decizie. Se vor analiza numai jocurile cu doi parteneri, deoarece majoritatea problemelor cercetării operaționale își găsesc rezolvarea pe asemenea modele.

a. JOCURI MATRICIALE

Un joc matricial G este definit de

$$G=(X, Y, f) \tag{XIX.14}$$

în care X și Y sînt cele două mulțimi ale strategiilor celor doi parteneri P_1 și P_2 iar f este o funcție reală definită pe produsul cartezian $X \times Y$, numită *funcție de cîștig*.

Dacă

$$x_i \in X \quad (i=1, 2, \ldots, m)$$
$$y_j \in Y \quad (j=1, 2, \ldots, n)$$

atunci funcția de cîștig definește matricea

$$F=\begin{vmatrix} f_{11} & f_{12} & \ldots & f_{1j} & \ldots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \ldots & f_{2j} & \ldots & f_{2n} \\ f_{i1} & f_{i2} & \ldots & f_{ij} & \ldots & f_{in} \\ f_{m1} & f_{m2} & \ldots & f_{mj} & \ldots & f_{mn} \end{vmatrix} \tag{XIX.15}$$

numită *matricea jocului* G *de ordinul* $m \times n$.

Cînd jucătorul P_1 alege o strategie x_i din mulțimea alternativelor X, este de așteptat ca partenerul său P_2 să răspundă printr-o strategie y_j astfel încît cîștigul lui P_1 să fie minim

$$c_i = \min_{1 \leqslant j \leqslant n} f_{ij}. \tag{XIX.16}$$

Cum însă P_1 face prima mutare, el are posibilitatea ca, din toate cîștigurile minime c_i $(i=1, 2, \ldots, m)$ definite prin (XIX.16), să cunoască pe cel mai mare și să aleagă strategia corespunzătoare x_k astfel încît

$$v_G = c_k = \max_{1 \leqslant i \leqslant m} c_i = \max_{1 \leqslant i \leqslant m} \min_{1 \leqslant j \leqslant n} f_{ij}. \tag{XIX.17}$$

Această relație definește o strategie cunoscută sub numele de *strategie maximin*.

Alegînd deci strategia maximin, jucătorul P_1 își asigură un cîștig cel puțin egal cu v_G, numită și *valoarea inferioară a jocului* G.

Jucătorul P_2 are interesul ca pierderea sa să fie cît mai mică. Este de așteptat însă ca P_1 să acționeze astfel încît pierderea lui P_2 să fie cît mai mare

$$e_j = \max_{1 \leqslant i \leqslant m} f_{ij}. \tag{XIX.18}$$

Scanned with OKEN Scanner

Față de aceasta, P_2 va alege acea strategie y_j care să-i asigure cea mai mică pierdere e_j

$$\bar{v}_G = e_l = \min_{1 \leqslant j \leqslant n} e_j = \min_{1 \leqslant j \leqslant n} \max_{1 \leqslant i \leqslant m} f_{ij}. \qquad \text{(XIX.19)}$$

Această soluție definește strategia cunoscută sub numele de *strategie minimax*.

Alegînd deci strategia minimax, jucătorul P_2 se asigură că nu poate pierde mai mult decît valoarea v_G, numită și *valoarea superioară a jocului* G.

Un joc matricial în care primul jucător utilizează strategia maximin iar cel de al doilea strategia minimax se spune că se conduce după *principiul minimax*.

În cazul cînd în jocul G se pot găsi două strategii $x^* \in X$ și $y^* \in Y$ astfel ca

$$f(x^*, y^*) = \max_{x \in X} \min_{y \in Y} f(x, y) = \min_{y \in Y} \max_{x \in X} f(x, y),$$

se spune că jocul matricial G are un *punct de echilibru* sau *punct șa*.

Se demonstrează că strategiile corespunzătoare punctului de echilibru constituie o soluție optimă stabilă a jocului considerat.

b. STRATEGII MIXTE

Fiecare din elementele $x \in X$ și $y \in Y$ este o *strategie pură* a jocului $G = (X, Y, f)$. Dacă se joacă mai multe partide, este de așteptat ca jucătorii să-și modifice strategiile de la un joc la altul. În această situație jucătorii nu vor aplica întotdeauna strategia optimă, ci vor folosi și alte strategii, în intenția de a profita de eventualele greșeli ale adversarului, ceea ce ar avea ca efect obținerea pentru funcția de cîștig a unor valori superioare celor date de soluția optimă.

Fiecare din strategiile $x \in X$ va fi folosită cu o probabilitate $\mu \in M$. În același fel, strategiilor $y \in Y$ le vor corespunde probabilitățile $\nu \in N$, iar funcția de cîștig va fi

$$\psi(\mu, \nu) = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \mu_i \nu_j \cdot f(x_i, y_j).$$

Se observă că s-a obținut un nou joc $\Gamma = (M, N, \psi)$ care se numește *jocul mediat* al lui $G = (X, Y, f)$.

Vectorul m-dimensional $(\mu_1, \mu_2, \ldots, \mu_m) \in M$ în care componentele μ_i sînt probabilitățile cu care partenerul P_1 folosește strategiile x_i, definește *strategia mixtă* a acestui jucător.

Similar, partenerul P_2 va avea ca strategie mixtă vectorul n-dimensional $(\nu_1, \nu_2, \ldots, \nu_n) \in N$.

În cazul strategiilor mixte, principiul minimax se scrie sub forma

$$\max_{\mu \in M} \min_{\nu \in N} \psi(\mu, \nu) = \min_{\mu \in M} \max_{\nu \in N} \psi(\mu, \nu).$$

Datorită asemănării între problemele complexe de decizie și jocuri, majoritatea cazurior concrete se modelează sub forma de jocuri statistice, în care natura reprezintă unul din parteneri.

Scanned with OKEN Scanner

PARTEA A PATRA

Automate folosite în conducerea ştiinţifică

Scanned with OKEN Scanner

XX

DISPOZITIVE MODERNE DE PRELUCRARE A DATELOR

1. STRUCTURA UNUI SISTEM DE PRELUCRARE A DATELOR

Cerințele organizării științifice a proceselor de producție conduc nemijlocit la detalierea factorilor care intervin în execuția obiectivelor și implicit, la creșterea numărului de informații, la complicarea modelelor matematice, deci la sporirea volumului de calcule.

Metodele și modelele matematice prezentate în capitolele precedente, prin gradul ridicat de dificultate a calculelor, fac inoperantă calculația manuală. Un factor de o deosebită importanță, *operativitatea luării deciziilor*, face ca noțiunea de conducere și organizare științifică să fie insdisolubil legată de noțiunea de prelucrare automată a datelor cu ajutorul *calculatoarelor electronice.*

Prelucrarea datelor în vederea conducerii științifice a producției de construcții comportă:

— înregistrarea informațiilor ce se raportează, pe un mediu capabil să le rețină, numit în general *suport* al informației;

— transmiterea informațiilor la centrul de prelucrare a datelor;

— prelucrarea propriu-zisă, conform procedeelor de organizare și conducere adecvate procesului de producție respectiv;

— depozitarea unora din informații;

— transmiterea proiectelor de decizii către executant;

— reluarea periodică a ciclului de prelucrare.

Toate acestea necesită o anumită dotare tehnică. Totalitatea dispozitivelor care asigură îndeplinirea activităților susmenționate alcătuiesc un *sistem de prelucrare a datelor.*

Cunoscînd o vertiginoasă dezvoltare datorită progreselor realizate de tehnica microminiaturizărilor electronice precum și de mecanica fină, aceste dispozitive au de pe acum o varietate atît de bogată, încît numai despre aceasta s-au scris biblioteci întregi.

De aceea nu se va insista asupra detaliilor constructive ale dispozitivelor decît în măsura în care acestea sînt indispensabile înțelegerii modului de funcționare.

Scanned with OKEN Scanner

Se atrage atenţia că nu vor fi epuizate toate variantele şi se vor da numai acele indicaţii de principiu, necesare abordării problemelor de organizare în faţa unor specialişti în domeniul tehnicii de calcul.

2. SUPORTURI ALE INFORMAŢIILOR

Cel mai cunoscut suport pentru informaţii este hîrtia, iar procedeul clasic de înregistrare a mesajelor este scrierea sau tipărirea.

Bineînţeles, alegerea unui suport pentru înregistrarea primară a informaţiilor este legată în primul rînd de posibilităţile tehnice în ce priveşte redarea informaţiei înregistrate sub o formă prelucrabilă cu un automat de calcul.

Întrucît în interiorul automatelor de calcul informaţiile se prezintă sub forma unor succesiuni de impulsuri, majoritatea suporturilor folosite pentru înregistrarea şi transmiterea informaţiilor caută realizarea directă în dispozitive de lectură simple a acestor impulsuri.

Cele mai răspîndite suporturi pentru înregistrarea informaţiilor prelucrabile automat sînt descrise în continuare.

a. BANDA DE HÎRTIE PERFORATĂ

Pe o panglică de hîrtie cu lăţime uniformă se practică perforaţii de formă rotundă, care produc în procesul de lectură a benzii, impulsuri electrice. Un grup de asemenea perforaţii situat pe aceeaşi dreaptă perpendiculară pe axa benzii constituie un *caracter* (fig. XX.1, *a*).

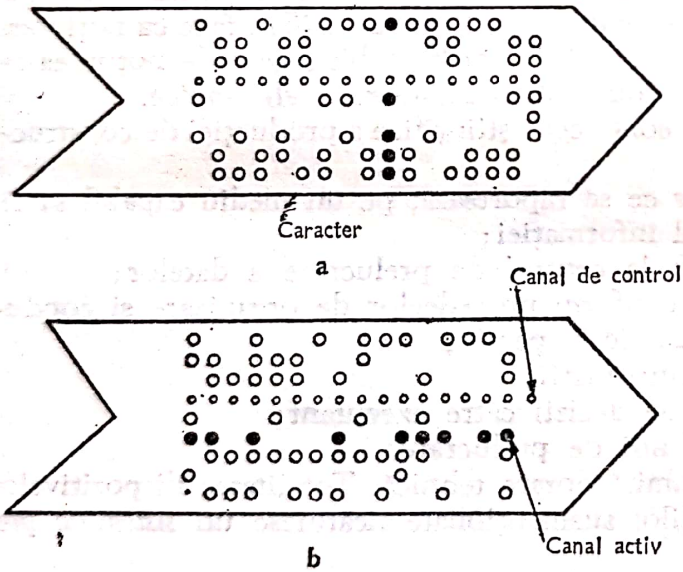


Fig. XX. 1

Perforaţiile situate pe aceeaşi dreaptă paralelă cu axa benzii constituie un *canal* de perforaţii (fig. XX.1, *b*).

Observaţie. În fig. XX.1 toate perforaţiile active sînt identice. Au fost accentuate unele perforaţii numai pentru diferenţierea noţiunilor de caracter şi canal.

Legate de acestea, sistemele de înregistrare şi transmitere a informaţiilor pe bandă de hîrtie perforată vor avea următoarele caracteristici care le vor diferenţia:

— *numărul de canale* folosit pentru reprezentarea caracterelor;

— *codul perforaţiilor*, adică asocierea unei combinaţii de perforaţii fiecărui caracter.

Cel mai răspîndit sistem de perforare a benzilor de hîrtie este *sistemul cu cinci canale active*, folosit în sistemul telegrafic internaţional.

Scanned with OKEN Scanner

În acest sistem banda de hîrtie are o lăţime de 17,5 mm şi perforaţiile de pe canalele active au un diametru de 1,5 mm. Un al şaselea canal de perforaţii cu un diametru de 1 mm serveşte drept canal de control pentru sincronizarea citirii canalelor active.

Deoarece toate combinaţiile posibile cu 1, 2, 3, 4 şi 5 perforaţii conduc la maximum $2^5=32$ caractere, nu se pot reprezenta toate caracterele alfabetului şi cifrele cu aceste 32 posibilităţi.

Spre a putea elimina acest neajuns, s-a convenit că un caracter anumit

Interpretarea perforaţiilor ca litere	Interpretarea perforaţiilor ca cifre şi semne	Canal 1	2	Control	3	4	5
A	–	●	●	●			
B	?	●			●	●	●
C	:		●	●	●	●	
D		●		●		●	
E	3	●		●			
F		●		●	●	●	
G			●	●		●	●
H					●	●	●
I	8		●	●	●		
J	Sonerie car	●	●	●		●	
K	(	●	●	●	●	●	
L	)		●	●			●
M	.			●	●	●	●
N	,			●	●	●	
O	9			●		●	●
	0			●	●	●	

Interpretarea perforaţiilor ca litere	Interpretarea perforaţiilor ca cifre şi semne	Canal 1	2	Control	3	4	5
Q	1	●	●	●	●		●
R	4		●	●		●	
S	'	●			●	●	
T	5			●		●	●
U	7	●	●	●	●		
V	=			●	●	●	●
W	2	●	●	●			●
X	/	●		●	●	●	●
Y	6	●		●	●	●	
Z	+	●		●			●
Întoarce carul telexului			●			●	
Cuplează numărător caractere			●	●			
Interpretează ca litere		●	●	●	●	●	●
Interpretează ca cifre		●	●	●		●	●
Pauză				●			

Fig. XX. 2

va specifica întotdeauna că tot ce urmează după el va fi interpretat ca literă şi respectiv alt caracter va arăta că tot ce urmează după el va fi interpretat ca cifră sau caracter special.

Spre exemplificare, în fig. XX.2 se dă codul cu cinci canale de perforaţii folosit în sistemul internaţional telegrafic nr. 2. În fig. XX.3 este perforată informaţia: CIMENT 6 TONE.

Totuşi, rezolvarea dată prin codul cu cinci canale reprezentării literelor şi cifrelor nu corespunde cerinţelor prelucrării automate a datelor.

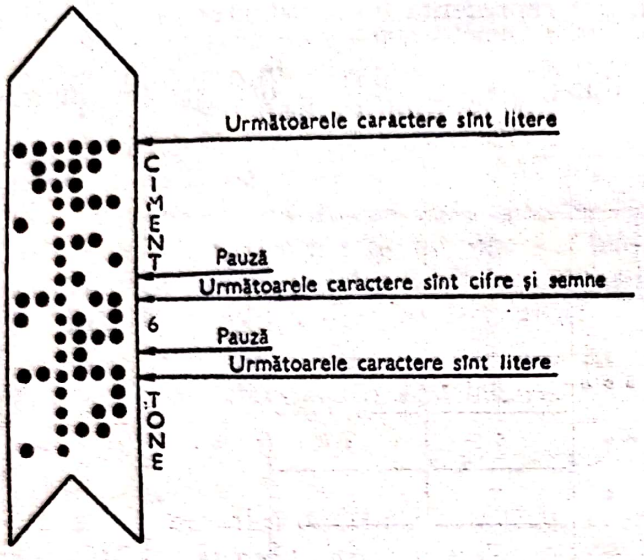


Fig. XX. 3

Reprezentarea alfanumerică a informaţiilor (succesiuni de litere şi cifre în ordine nedefinită) face necesară adoptarea a cel puţin şase canale active de perforaţii pe banda de hîrtie.

Specifice calculatoarelor electronice, moderne, benzile perforate cu 6, 7 şi 8 canale au înlocuit în dispozitivele de introducere a datelor vechiul sistem cu cinci canale. Totuşi, datorită marelui număr de echipamente cu cinci canale existente, noile dispozitive permit de obicei lectura benzilor perforate în oricare din sistemele menţionate mai înainte.

Cu toate că un cod cu şase canale active este suficient pentru reprezentarea tuturor caracterelor alfabetice şi numerice uzuale, benzile cu 7 şi 8 canale sînt preferate datorită posibilităţii de transformare directă a codului de perforaţii în impulsuri prelucrabile nemijlocit, introducerea controlului de paritate etc.

Se spune că sistemul cu 7 şi 8 canale active reprezintă un cod de perforaţii *redondant*, deoarece oferă posibilitatea reprezentării unui număr de caractere superior celor folosite efectiv.

Pregătirea benzilor de hîrtie perforată se face cu dispozitive speciale acţionate prin *claviaturi numerice* care permit numai înregistrări de cifre, sau prin *claviaturi alfanumerice* care au posibilitatea de a înregistra deopotrivă litere şi cifre.

Un operator poate înregistra pe bandă perforată circa 60 000 caractere zilnic.

Verificarea benzilor perforate se face fie prin traducere în text clar, fie prin verificare perforaţie cu perforaţie. Greşelile sînt notate şi înregistrate pe o nouă bandă de hîrtie numită *bandă de corecţii*, care indică valorile corecte ale caracterelor iniţial greşite.

b. CARTELA PERFORATĂ

Producînd impulsuri pe baza unor principii asemănătoare benzilor perforate, sistemul de înregistrare a informaţiilor pe cartele perforate are în plus avantajul unei asocieri a noţiunii de informaţie elementară şi document primar cu noţiunea de cartelă.

Scanned with OKEN Scanner

Astfel, printr-o judicioasă elaborare a formularelor, se poate face ca fiecărui document primar să-i corespundă o cartelă perforată.

De obicei un număr de caractere este rezervat identificării obiectului, executantului, beneficiarului etc. şi chiar cartelei însăşi. Aceasta face posibilă sortarea automată a cartelelor perforate cu ajutorul unor dispozitive sortatoare, după criteriile dorite de cel care prelucrează datele.

Cartelele se perforează de către operatori specializaţi cu ajutorul unor maşini numite *perforatoare* care dispun de o claviatură asemănătoare celei întîlnite la maşinile de scris uzuale. Un operator poate perfora circa 1 000 cartele a 80 coloane pe zi.

După perforare, cartelele se introduc în maşina de control unde sînt verificate perforaţie cu perforaţie. Cartelele greşit perforate se înlocuiesc. După această verificare, probabilitatea de a mai avea o cartelă greşită scade sub 1/10 000.

Trecînd cartelele printr-o maşină specială *de interpretat*, se poate obţine imprimarea în clar pe cartelă a informaţiilor perforate.

Cartelele perforate se folosesc de multă vreme ca suport al informaţiilor în prelucrarea mecanică a datelor şi de aceea forma şi dimensiunile lor sînt astăzi standardizate.

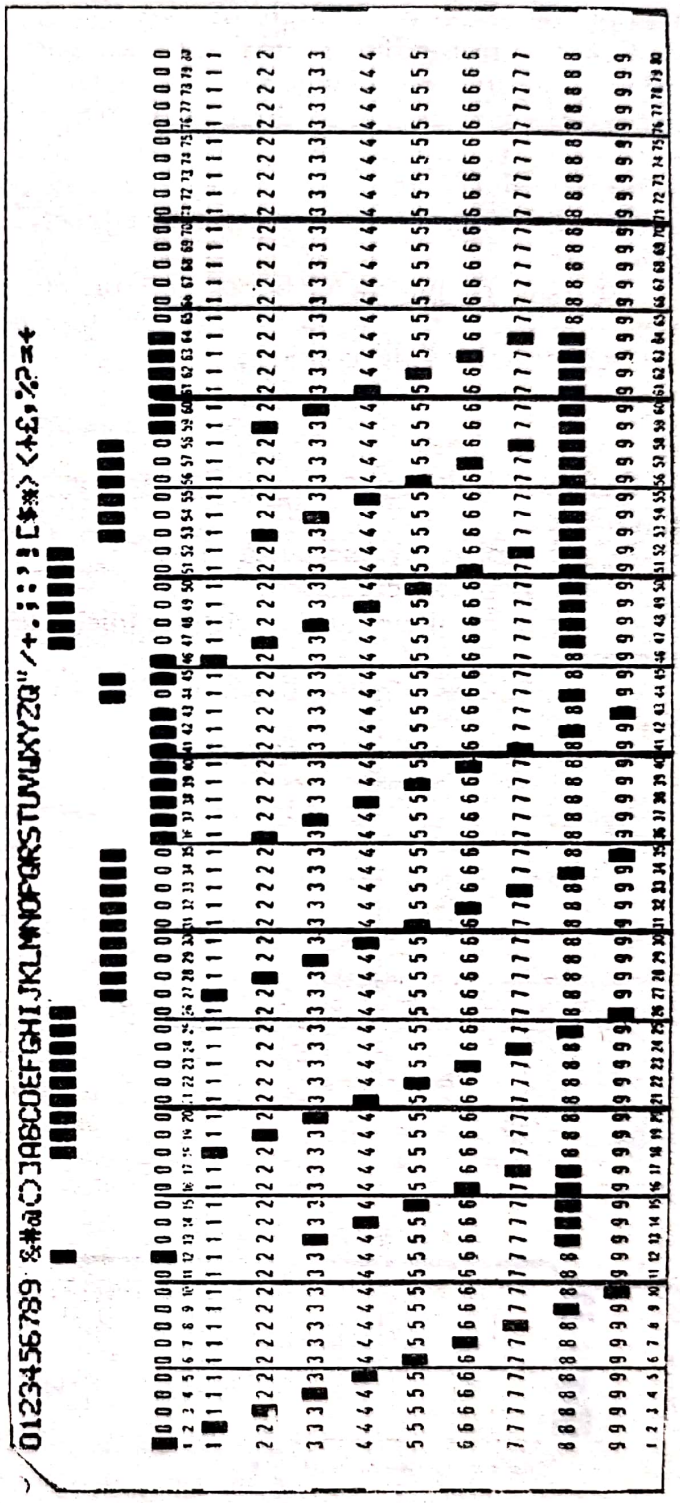


Fig. XX. 4

O cartelă este caracterizată prin *numărul de linii* şi prin *numărul de coloane*. Fiecărei coloane îi corespunde un *caracter*.

Cele mai răspîndite sisteme cu cartele perforate au 12 linii şi 80 de coloane, putînd înregistra maximum 80 de caractere alfanumerice. Liniile au rolul ca, prin poziţia lor, să indice direct valoarea cifrei reprezentate. Acest deziderat se satisface cu 10 linii, numerotate pe cartelă de la 0 la 9. Două linii suplimentare au rolul ca, prin combinare cu celelalte zece linii de reprezentare numerică, să realizeze reprezentarea caracterelor alfabetului precum şi a caracterelor speciale.

Cu toate că nu s-a elaborat încă un standard internaţional privind codul de perforaţii al cartelelor, în fig. XX.4 se dă cel mai răspîndit cod de perforaţii al cartelelor cu 80 de coloane.

c. BANDA MAGNETICĂ

Sistemul de înregistrare a informaţiilor pe bandă perforată are următoarele dezavantaje:

— are rezistenţă mecanică redusă;
— nu permite corecturi;
— are o densitate de înregistrare mică, deci lungime mare şi viteză redusă de lectură;
— după întrebuinţare, banda perforată nu mai poate fi folosită pentru alte informaţii.

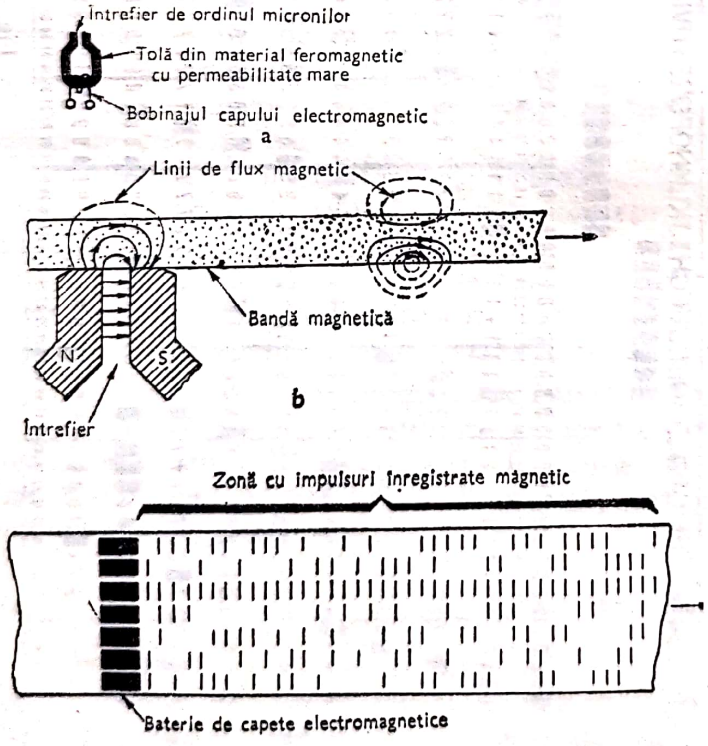


Fig. XX. 5

Toate aceste inconveniente sînt înlăturate prin folosirea benzilor magnetice ca suport de informaţie.

Banda magnetică este de obicei confecţionată dintr-o panglică de lăţime constantă dintr-un film de polimeri sintetici, rezistentă la tracţiune şi la uzură, acoperită cu un strat feromagnetic asemănător benzilor de magnetofon obişnuite.

Impulsurile sînt înregistrate cu ajutorul unor capete electromagnetice dispuse pe fiecare din canalele benzii (fig. XX.5). Densitatea de înregistrare este în medie de circa 300 caractere pe 1 cm. Lectura înregistrărilor se face similar, tot cu ajutorul unor capete electromagnetice.

Scanned with OKEN Scanner

Observație. În realitate, impulsurile înregistrate magnetic, reprezentate în fig. XX.5, nu se văd. Pe desen au fost însă figurate zonele în care sînt înregistrate impulsurile, pentru înțelegerea principiului.

Codurile de impulsuri diferă mult de la un constructor la altul. În fig. XX.6 este dat un extras din codul cu 7 canale BCD (binary coded decimal) folosit de firma americană I.B.M.

d. CARTELELE MAGNETICE

Pentru a exploata avantajele legate de sortarea cartelelor perforate, dar și de a înlătura dezavantajele legate de imposibilitatea corectării și reutilizării cartelelor, cartelele din carton perforat au fost înlocuite de unele firme prin cartele din materiale rezistente acoperite cu strat feromagnetic.

Înregistrarea, ca și lectura informațiilor înregistrate, se fac cu ajutorul unor capete electromagnetice dispuse convenabil.

Codurile de impulsuri cele mai folosite sînt asemănătoare codurilor de perforații arătate în paragraful 2,b din acest capitol.

Benzile și cartelele magnetice se utilizează ca suport pentru informații deopotrivă în dispozitivele de introducere a datelor în automatele de calcul, cît și în dispozitivele periferice de memorare.

3. TRANSMITEREA INFORMAȚIILOR LA CENTRUL DE PRELUCRARE A DATELOR

Complexitatea automatelor de calcul, exploatarea pretențioasă și performanțele ridicate ale acestora, fac neindicată prevederea unor asemenea instalații la fiecare punct de lucru.

Concentrarea automatelor de calcul în centre de prelucrare a datelor ridică problema colectării și transmiterii informațiilor de la punctele de lucru la centrul de calcul.

Se cunosc trei categorii de procedee pentru transmiterea informațiilor la centrele de prelucrare:

a. TRANSMITEREA DIRECTĂ A DOCUMENTELOR PRIMARE

În cazul cînd punctele de lucru au o viață scurtă sau au o mobilitate care împiedică instalarea unor alte sisteme de transmitere, sau mai cu seamă

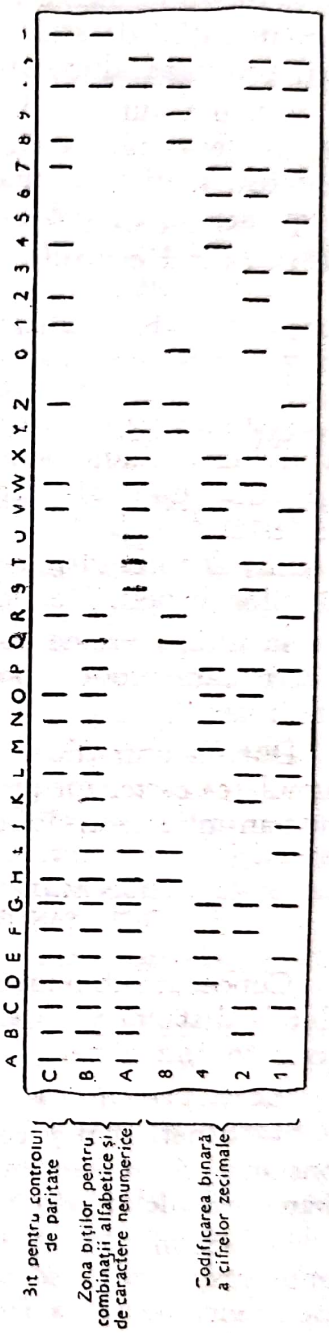


Fig. XX.6

atunci cînd nu se dispune de cadre competente şi dispozitive de tratare a informaţiilor, documentele primare sînt colectate periodic şi transmise centrului de calcul.

Aceste documente primare sînt de fapt însăşi bonurile de materiale, fişele de pontaj, dări de seamă de toate felurile, scrise pe formulare adecvate prelucrării automate ulterioare a informaţiilor.

Pentru a putea fi deosebite între ele, documentele primare trebuie să conţină, în afara informaţiilor de bază, o serie de informaţii auxiliare despre întreprinderea, şantierul, punctul de lucru etc., în funcţie de natura documentului.

Transpunerea informaţiilor pe suporturi adecvate prelucrării automate se face în cadrul centrului de calcul.

b. TRANSMITEREA INFORMAŢIILOR ÎNREGISTRATE PE SUPORT DE BENEFICIARUL CALCULELOR

Transcrierea informaţiilor de pe documentele primare pe suporturi în vederea prelucrării automate reprezintă o muncă suplimentară, care se efectuează cu ajutorul unor dispozitive manevrate manual şi care realizează o productivitate destul de redusă. Acest inconvenient se găseşte deopotrivă atît la transcrierea informaţiilor în cadrul centrelor de calcul, cît şi la transcrierea acestora în cadrul unităţilor beneficiare de calcul.

În ultima vreme au început să se utilizeze dispozitive de tipul maşinilor de scris care produc, o dată cu documentul primar, şi cartela perforată corespunzătoare.

Dotarea unităţilor beneficiare de calcul cu asemenea dispozitive face posibilă acumularea cartelelor perforate pe măsura producerii lor. Periodic, aceste cartele sînt transmise centrului de calcul pentru prelucrarea automată a datelor.

c. TRANSMITEREA INFORMAŢIILOR PRIN LINII DE TELECOMUNICAŢIE ÎNTRE ŞANTIERE (ÎNTREPRINDERI) ŞI CENTRELE DE PRELUCRARE

Cunoscut sub numele de *telegestiune*, acest sistem de transmitere a informaţiilor la distanţă va fi analizat în detaliu în capitolul următor, care-i este consacrat în întregime.

Acest principiu se foloseşte cu precădere în următoarele situaţii:

— beneficiarii şi centrul de calcul sînt situaţi la distanţă, făcînd ca timpul consumat cu transportul documentelor informaţionale să diminueze operativitatea calculelor automate;

— schimburile de informaţii între beneficiar şi centrul de calcul sînt frecvente, răspunsurile se cer instantaneu şi nu pot aştepta acumularea mai multor documente pentru a face eficientă una din metodele expuse anterior.

Liniile cele mai folosite pentru transmisie sînt liniile telegrafice şi telefonice, adică liniile cu fir. Transmisiile fără fir sînt utilizate doar cu caracter experimental şi nu şi-au găsit aplicaţie generală datorită nivelului ridicat al zgomotelor şi impulsurilor parazite.

Scanned with OKEN Scanner

4. PRELUCRAREA AUTOMATĂ A DATELOR. CALCULATOARELE ELECTRONICE

Caracteristice organizării ştiinţifice a proceselor de producţie sînt:

— volumul extrem de ridicat al informaţiilor care intervin în modelarea acestor procese;

— structura relativ simplă a modelelor matematice de prelucrare a informaţiilor elementare;

— numărul mare de parametri sintetici care se determină din procesul de prelucrare a informaţiilor;

— complexitatea metodelor matematice folosite pentru modelarea problemelor de planificare operativă, ordonanţare, optimizări de soluţii economice, probleme de stocuri, probleme de aşteptare, probleme de decizie etc.;

—reactualizarea periodică a calculelor datorită abaterilor de la soluţia optimă.

Cele arătate conduc nemijlocit la volume impresionante de calcule, pentru a căror efectuare manuală nu se dispune niciodată de capacitate şi timp suficient.

Din acest motiv, organizarea ştiinţifică nu poate fi despărţită de existenţa unor unităţi de calcul automat puternice.

Pentru a putea explicita felul în care lucrează aceste automate, se va face întîi o descriere sumară a calculatoarelor electronice.

Prin *calculator electronic* se înţelege de obicei un automat capabil de a executa, pe bază de program, operaţii aritmetice, logice, şi unele operaţii nematematice. Se precizează că prin expresia „calculator electronic" se înţeleg numai *calculatoarele electronice numerice*, adică acelea la care informaţiile circulă sub formă de numere. Cealaltă categorie de calculatoare, la care informaţiile sînt mărimi ale unor parametri ai circuitelor, se diferenţiază prin denumirea de *calculator analogic*.

Calculatorul electronic este o maşină cibernetică. Structura logică internă a calculatoarelor electronice reflectă în bună parte organizarea activităţii umane în procesul de rezolvare a problemelor. În principiu, rezolvarea de către om a unei probleme comportă:

— captarea din mediul înconjurător a informaţiilor referitoare la problema de rezolvat. Aceasta se realizează prin organele de simţ;

— efectuarea calculelor propriu-zise de către sistemul nervos central;

— materializarea rezultatelor (scriere, vorbire) prin organele executive.

Pentru efectuarea calculelor, omul trebuie să posede cunoştinţele necesare pe care le-a căpătat printr-un proces de instruire, care a imprimat în memoria sa metodele de rezolvare a problemelor din domeniul respectiv. Pus în faţa unei probleme concrete, sistemul nervos central face apel la memorie şi, suprapunînd metodele generale obţinute prin instruire împreună cu rutinele de conduită în rezolvarea problemelor (caracteristice fecărui om), peste condiţiile concrete ale problemei de rezolvat, îşi construieşte un *procedeu* de rezolvare pe care-l urmăreşte în tot timpul calculelor.

Asemănător se desfăşoară procesul de rezolvare cu calculatorul electronic:

1) Captarea informaţiilor referitoare la procedeul de calcul şi datele numerice ale problemei în vederea introducerii acestora în automatul de calcul se

Scanned with OKEN Scanner

efectuează cu ajutorul dispozitivelor de introducere a informaţiilor, numite şi *dispozitive de intrare.*

2) Calcularea prorpiu-zisă cu ajutorul unui dispozitiv electronic capabil să efectueze operaţii aritmetice şi logice, să primească sau să transmită informaţii de la sau către dispozitivele cu care este conectat, să efectueze diferite operaţii de control automat al desfăşurării calculelor sau al conectării celorlalte dispozitive.

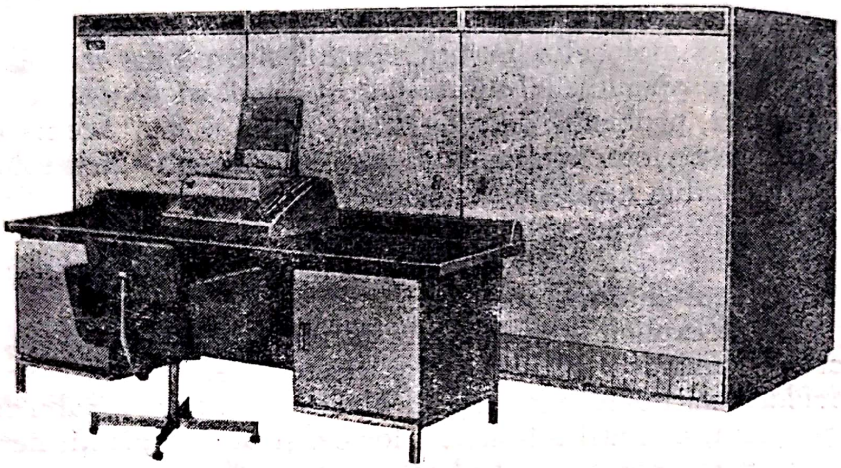


Fig. XX. 7

Acest dispozitiv electronic care simulează întrucîtva funcţiile sistemului nervos central poartă denumirea de *procesor central* (fig. XX.7).

Pentru reţinerea informaţiilor, atît cele care se introduc în calculator prin dispozitivele de intrare cît şi rezultatele intermediare şi finale ale calculelor, calculatorul electronic dispune de *dispozitive de memorare.*

3) Materializarea rezultatelor calculelor efectuate automat de către un calculator electronic se face cu ajutorul unor organe executive numite în general *dispozitive de extragere* a datelor sau pe scurt *dispozitive de ieşire.*

Organizarea tuturor dispozitivelor enumerate în cadrul acestei unităţi funcţionale, pe care am denumit-o calculator electronic, este ilustrată în fig. XX.8.

Procesorul central este conectat direct cu memoria operativă, în care sînt depozitate datele numerice ale problemei şi programul de calcul. Acestea au fost introduse în memoria operativă prin citirea informaţiilor înregistrate pe diferite suporturi cu ajutorul dispozitivelor de intrare.

Pentru efectuarea calculelor, procesorul central se adresează părţii din memorie care cuprinde programul, de unde se informează asupra operaţiilor pe care le are de executat şi asupra operanzilor cu care trebuie să efectueze aceste operaţii. Efectuarea calculelor necesitînd un permanent schimb de informaţii între procesorul central şi memoria operativă, legătura între acestea permite accesul direct al procesorului central la cele mai elementare informaţii memorate.

Scanned with OKEN Scanner

Dispozitivele periferice de memorare folosesc drept *depozite de informaţii* cu care nu se pot efectua decît operaţii de transport, adică de mutare a informaţiilor dintr-un dispozitiv al calculatorului electronic în altul.

În general, se numesc *periferice* toate dispozitivele situate în afara procesorului central, cu alte cuvinte la periferia acestuia.

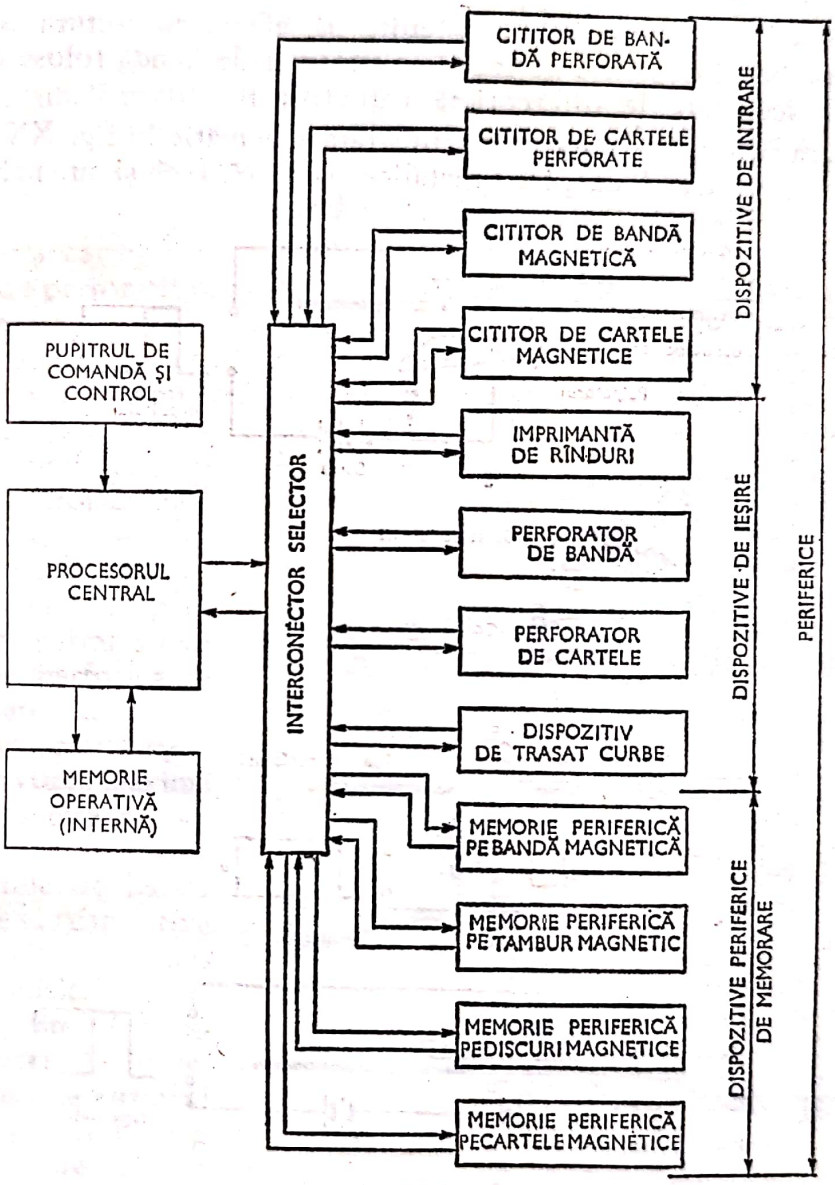


Fig. XX.8

Dispozitivele periferice nu sînt legate direct de procesorul central, ci prin intermediul unui *interconector* care permite o mare varietate de scheme de organizare a unui ansamblu electronic de calcul, folosind periferice adecvate tipului de probleme pentru care a fost profilat centrul de calcul.

a. DISPOZITIVE DE INTRODUCERE A DATELOR

Dispozitivele de intrare uzuale sînt construite în vederea citirii informațiilor înregistrate pe diferite suporturi, transformării acestora în impulsuri și transmiterii informațiilor în cod de impulsuri către procesorul central.

Diferențiate după natura suportului pe care au fost înregistrate informațiile, se întîlnesc următoarele tipuri de dispozitive de introducere a datelor:

Cititorul de bandă perforată. Menite să efectueze lectura informațiilor înregistrate pe benzi de hîrtie perforată, cititoarele de bandă folosesc mai multe procedee tehnice, care le diferențiază calitativ;

1) Lectura prin palpare mecanică, ilustrată schematic în fig. XX.9, *a*. Banda de hîrtie trece printre două piese metalice, o placă fixă și un palpator avînd

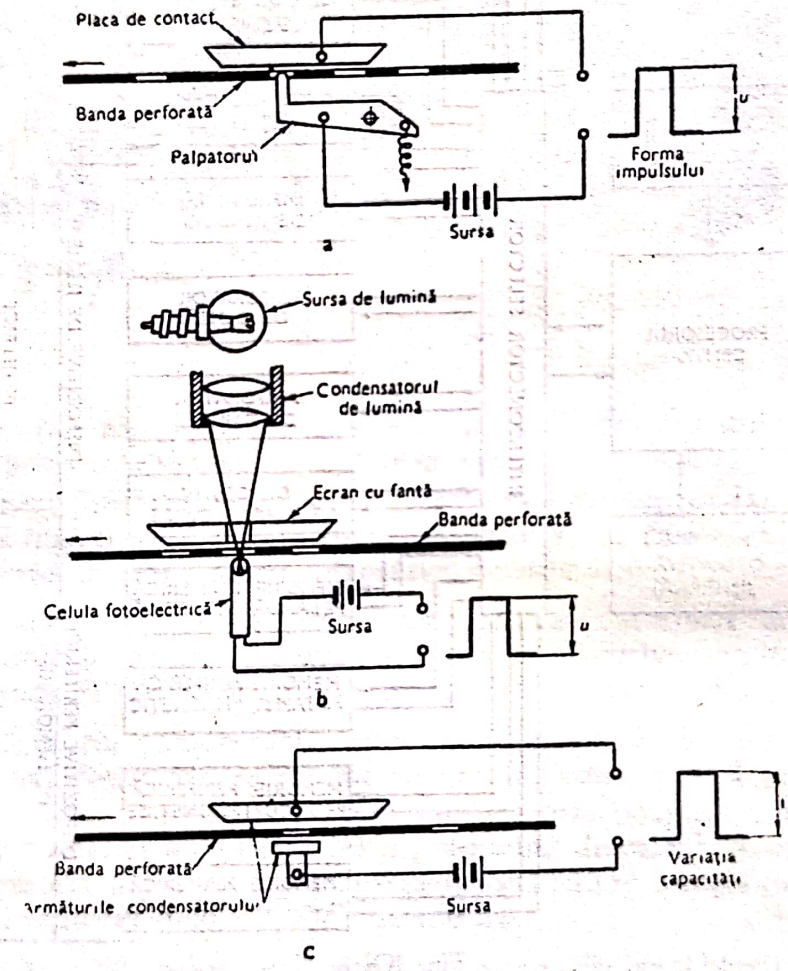


Fig. XX.9

dimensiunea puțin inferioară perforației, care presează ușor banda de hîrtie. Fiecare canal are prevăzut cîte un palpator. Banda de hîrtie se deplasează cu o viteză constantă.

La apariţia unei perforaţii, palpatorul pătrunde prin aceasta şi stabileşte contactul cu placa metalică fixă, pentru un interval egal cu timpul de trecere al perforaţiei prin faţa palpatorului. Ia astfel naştere pe circuitul electric afectat canalului de perforaţii respectiv, un impuls.

2) Lectura fotoelectrică, ilustrată schematic în fig. XX.9, *b*. Un fascicul de raze luminoase focalizate corespunzător şi limitate prin ecrane cu fantă la dimensiunile perforaţiilor, cade pe banda de hîrtie perforată aflată în mişcare uniformă.

Apariţia unei perforaţii în hîrtie permite trecerea fasciculului luminos prin aceasta, către o celulă fotoelectrică situată de cealaltă parte a benzii perforate, dînd astfel naştere unui impuls. Se vor găsi tot atîtea celule fotoelectrice, cîte canale de perforaţii are banda, inclusiv canalul de control.

3) Lectura capacitivă, ilustrată schematic în fig. XX.9, *c*. În dreptul fiecărui canal de perforaţii se găseşte o armătură metalică de dimensiuni corespunzătoare perforaţiilor, care alcătuieşte, împreună cu o placă metalică fixă, un condensator electric cu aer. Trecînd o bandă de hîrtie printre armături, se schimbă dielectricul, deci şi valoarea capacităţii. Fiecare perforaţie produce o variaţie a capacităţii acestui condensator, variaţie transformată cu ajutorul unor circuite electronice în impulsuri standardizate.

Lectura prin palpare mecanică nu permite realizarea unor performanţe bune, cititoarele de bandă care folosesc acest sistem lucrînd cu o viteză maximă de 100 caractere pe secundă.

Cititoarele de bandă fotoelectrice sau capacitive au performanţe mult superioare, realizînd viteze de lucru de peste 1 000 caractere pe secundă. În fig. XX.10 se prezintă cititorul de bandă perforată tip ICT 1916, care citeşte 1 000 caractere pe secundă.

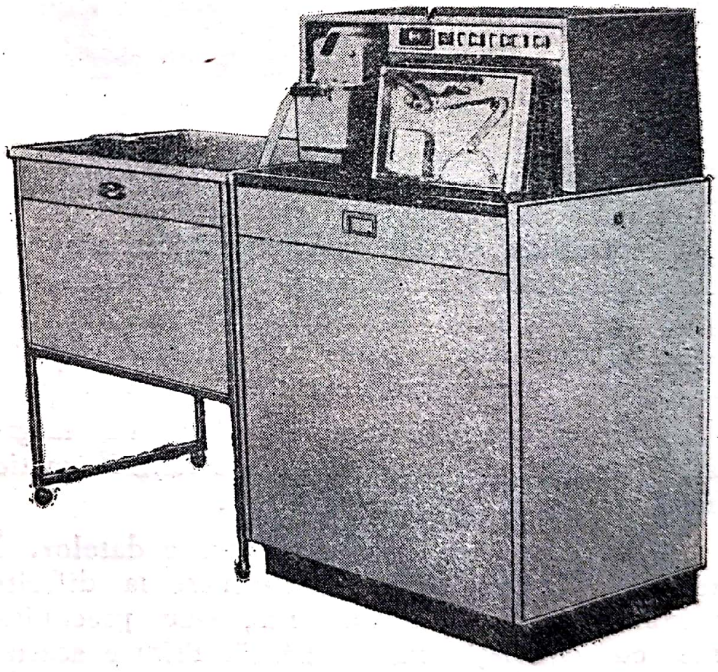


Fig. XX. 10

Cititorul de cartele perforate. Realizat pe principii de lectură asemănătoare celor folosite la cititoarele de bandă perforate, dispozitivele de citire a cartelelor perforate permit lectura cartelelor, una cîte una, în ordinea în care acestea au fost aşezate în pachetul de cartele care s-a introdus în depozitul cititorului, aşezîndu-le după citire în aceeaşi ordine.

Vitezele de lucru ale cititoarelor de cartele perforate variază între 100 și 2 000 cartele citite pe minut. Cititorul de cartele perforate ICT 1911 prezentat în fig. XX.11 realizează o viteză de 900 cartele a 80 coloane pe minut.

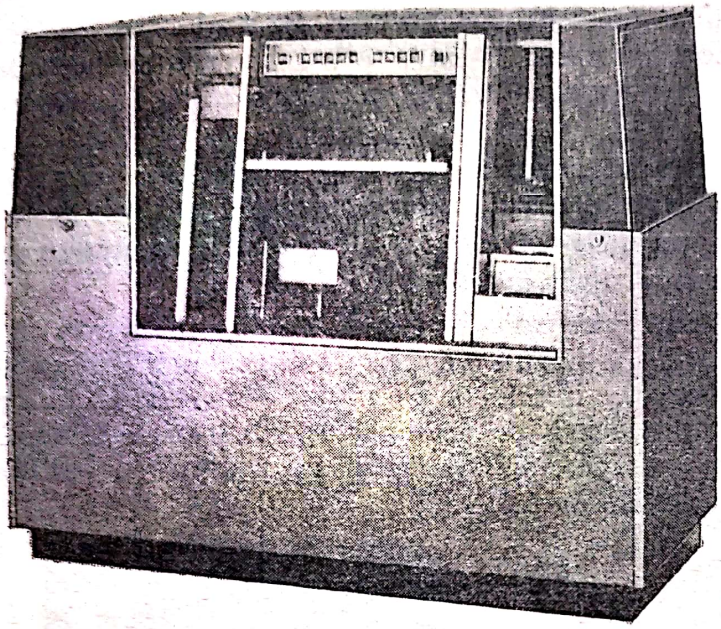


Fig. XX. 11

Cititorul de bandă magnetică. Principiul de realizare al unui cititor de bandă magnetică este asemănător felului în care se face redarea unei benzi de magnetofon.

Banda magnetică înregistrată conform principiilor ilustrate în fig. XX.5, *c*, este trecută prin fața unei baterii de capete electromagnetice de citire, situate în poziție corespunzătoare canalelor înregistrate.

Viteza de lucru a unui asemenea dispozitiv a atins valoarea de 100 000 caractere pe secundă.

Cititorul de cartele magnetice. Realizat pe principii de lectură asemănătoare celor folosite la dispozitivele cu bandă magnetică, cititoarele de cartele magnetice îmbină avantajele cartelelor perforate cu performanțele înregistrărilor magnetice, permițînd lectura rapidă a cartelelor, una cîte una, în ordinea situării acestora în pachetul de cartele, așezîndu-le în aceeași ordine după citire.

Datorită particularităților peliculelor magnetice, cantitatea de informații înregistrate pe o singură cartelă magnetică este mult superioară celor înregistrate pe cartelele perforate.

Alte dispozitive de introducere a datelor. În afară de dispozitivele de introducere arătate care se întîlnesc la diferite categorii de calculatoare electronice în fabricație curentă, s-au preconizat și realizat diferite alte sisteme cu circulație mai restrînsă. Printre acestea sînt:

Dispozitivul pe film optic este folosit de obicei la introducerea acelor informații care au un grad ridicat de repetitivitate, ceea ce ar conduce la uzura rapidă a benzilor de hîrtie perforată. Acest dispozitiv are o răspîndire limitată și nu se întrevede nici extinderea sa, deoarece nu oferă avantaje față de dispozitivele pe bandă magnetică, ale căror performanțe sînt superioare.

Autolectorul este un dispozitiv care permite citirea directă a textelor scrise pe hîrtie cu ajutorul unor mașini de scris avînd caracterele standardizate. Dispo-

Scanned with OKEN Scanner

zitivul, în prezent experimental, este pasibil de numeroase îmbunătăţiri şi i se prevede un viitor strălucit, deoarece exclude transcrierea informaţiilor de pe hîrtia scrisă pe alte suporturi.

b. DISPOZITIVE DE EXTRAGERE A DATELOR

Destinate materializării rezultatelor obţinute prin calcul, dispozitivele de extragere a datelor au drept scop să înregistreze informaţiile-rezultat pe diferite suporturi.

Alegerea dispozitivului de ieşire se face ţinînd seama de suportul pe care acesta înregistrează informaţiile, în vederea utilizării imediate şi lesnicioase a rezultatelor.

În această privinţă se deosebesc mai multe dispozitive de extragere a datelor:

Maşina de scris acţionată cu comandă electronică. Este o maşină de scris electrică asemănătoare celor de birou, cu comandă electronică dată de la procesorul central.

Informaţiile sînt tipărite pe hîrtie de scris, caracter după caracter, cu o viteză de 10 pînă la maximum 20 caractere pe secundă. Au fost realizate şi unele tipuri cu viteze de lucru superioare, dar sistemul acesta este depăşit.

Maşinile de scris nu se mai folosesc drept dispozitive de ieşire decît la calculatoarele electronice de birou, care nu intră în categoria calculatoarelor electronice universale numerice şi nu sînt luate în consideraţie de statisticile oficiale.

Imprimanta de rînduri. Întîlnită în literatura de specialitate sub numele de *line printer*, imprimanta de rînduri permite tipărirea simultană a tuturor caracterelor care compun un rînd.

Pentru aceasta, dispozitivul dispune de o memorie proprie, numită *memorie tampon*, care permite compunerea rîndurilor întregi înainte de a fi scrise.

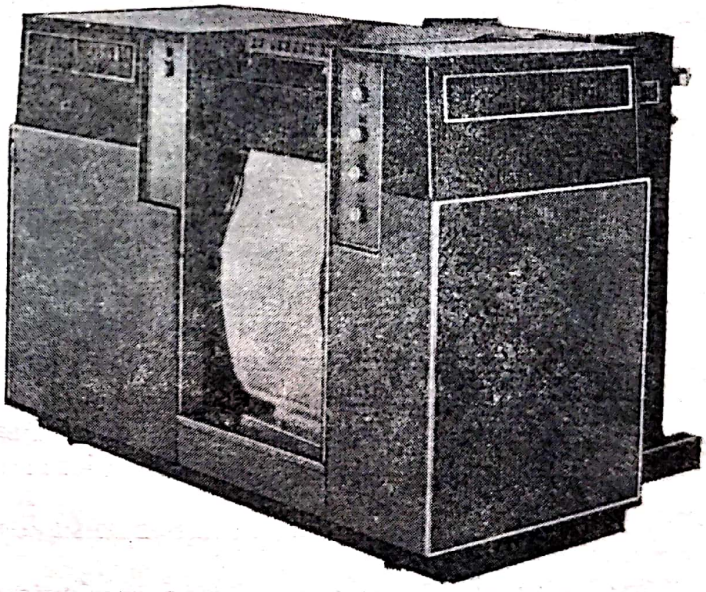


Fig. XX. 12

Viteza acestor dispozitive este mare, fiind o performanţă obişnuită tipărirea a 25 de rînduri pe secundă, lungimea unui rînd fiind de maximum 160 caractere (fig. XX.12).

Perforatoare de cartele şi perforatoare de bandă. Aceste dispozitive se utilizează în două situaţii:

— cînd informaţiile-rezultat reintră în circuitul calculelor sau suferă prelucrări ulterioare pe diferite maşini;

Scanned with OKEN Scanner

— cînd capacitatea de lucru sau performanţele dispozitivelor de tipărire sînt depăşite de volumul rezultatelor. În acest scaz, rezultatele obţinute pe bandă sau cartele sînt introduse ulterior în traducătoare, rezultînd informaţii tipărite.

În fig. XX.13 este prezentat perforatorul de cartele ICT 1921 care perforează pînă la 350 cartele a 80 coloane pe minut, iar în fig. XX.14 perforatorul de bandă ICT 1925 care poate realiza perforaţii în cod de 5, 6, 7 şi 8 canale cu o viteză de maximum 110 caractere pe secundă.

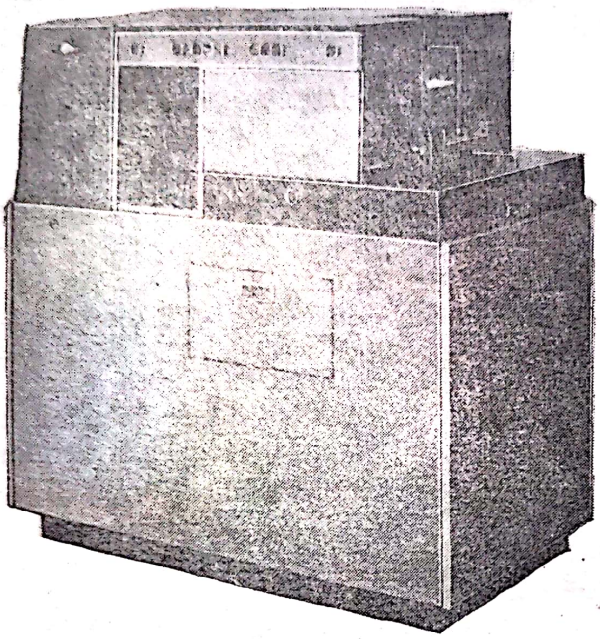


Fig. XX. 13

Dispozitive de trasat curbe. Acestea sînt dispozitive de tip digital-analog, care transformă informaţiile discrete primite de la procesorul central, în curbe care se trasează pe coli speciale.

Ele servesc la trasarea curbelor şi chiar la efectuarea desenelor tehnice de o factură mai puţin complicată, la care contururile pieselor pot fi determinate prin expresii matematice sau pot fi deduse logic prin similitudine cu contururi cunoscute.

Alte dispozitive de extragere a datelor. Pe linia obţinerii directe a informaţiilor care rezultă din calcule, sub forma în care acestea sînt imediat folosibile, s-au dezvoltat şi alte tipuri de dispozitive de extragere a datelor, cum sînt:

— dispozitive cu benzi şi cartele magnetice;
— dispozitive cu afişare luminoasă, pe ecrane de tip cinescop;
— dispozitive sonore;
— dispozitive analogice, folosite în special în procesele de reglare automată;
— dispozitive de tipărire prin impresionarea materialelor fotosensibile etc.

c. DISPOZITIVE DE MEMORARE

Dispozitivele de memorare sînt confecţionate din materiale capabile să reţină informaţii. Cele mai sigure sînt memorările pe materiale capabile de numai două stări stabile, informaţiile fiind înregistrate după principiul DA-NU.

Asemenea medii capabile de două stări stabile sînt numeroase în natură, dar numai două fenomene au putut fi luate pînă acum în consideraţie la realizarea dispozitivelor de memorare automate: comutaţia electronică şi magnetismul.

Astfel, un circuit de comutaţie poate fi deschis nefiind conductiv şi i se asociază în acest caz starea NU, sau poate fi închis şi în consecinţă conductiv, asociindu-i-se starea DA.

Tot aşa, un material feromagnetic poate să fie magnetizat stabil sau, în aceeaşi măsură de stabilitate, nemagnetizat. Celor două stări li se pot asocia informaţiile DA şi respectiv NU.

Pentru a înţelege cum se pot reprezenta cu numai două stări stabile informaţiile complexe, vom arăta că, grupînd mai multe celule elementare bistabile, se pot realiza mai multe combinaţii distincte, astfel:

1 bistabil $=2^1=$ 2 combinaţii distincte;
2 bistabili $=2^2=$ 4 combinaţii distincte;
3 bistabili $=2^3=$ 8 combinaţii distincte;
4 bistabili $=2^4=16$ combinaţii distincte;
5 bistabili $=2^5=32$ combinaţii distincte;
6 bistabili $=2^6=64$ combinaţii distincte.

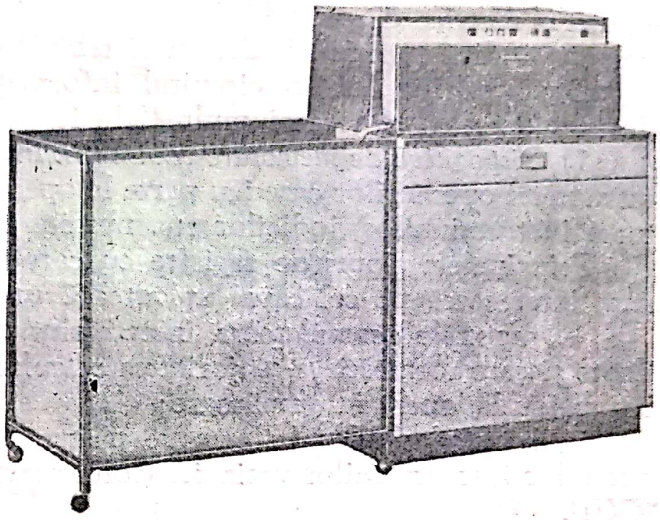


Fig. XX.14

Pentru exemplificare, revenim la exemplul dat în fig. XX.3 unde informaţia CIMENT 6 TONE a fost introdusă pe bandă perforată folosind un cod cu cinci canale active.

Un dispozitiv de memorare capabil să reţină asemenea informaţii, în ipoteza că foloseşte acelaşi cod de reprezentare, va trebui să pună la dispoziţie pentru acest mesaj $17\times5=85$ celule elementare bistabile, cîte 5 pentru fiecare caracter. Aceste celule vor trebui să fie activate sau nu, după cum în cod există sau nu o perforaţie la poziţia respectivă.

Convenim să asociem celor două stări stabile ale mediului de memorare, cifrele 0 şi 1. Acest lucru determină folosirea în interiorul calculatorului electronic a sistemului de numeraţie în baza 2, adică *sistemul binar*. Fiecare celulă elementară bistabilă, adică fiecare poziţie binară, se numeşte *bit*, denumire care reprezintă de fapt prescurtarea unui termen din limba engleză *b*inary digit = cifră binară. Mai mulţi biţi reuniţi într-un grup ordonat pot înmagazina o anumită cantitate de informaţie denumită *cuvînt*, formată din mai multe caractere alfanumerice. La majoritatea dispozitivelor de memorare, numărul de biţi destinaţi unui cuvînt este fix. Aceasta înseamnă că toate cuvintele din acea memorie au *lungimea constantă*. S-au construit însă şi calculatoare avînd memoria cu *lungimea cuvintelor variabilă*, care conferă avantajul că se poate lucra cu informaţii oricît de vaste, fără a face necesară descompunerea lor în mai multe cuvinte din reuniunea cărora să se determine informaţia dată (IBM) sistemul 360.

Cele mai răspîndite sînt calculatoarele echipate cu memoria organizată pe caractere, un cuvînt conţinînd 3—4 caractere.

Cuvintele care alcătuiesc o memorie sînt ordonate, fiecărui cuvînt asociindu-i-se un număr numit *adresă*. Totalitatea cuvintelor care alcătuiesc o memo-

rie definește *capacitatea* acesteia. Se poate spune, de exemplu despre un calculator electronic oarecare că are memoria cu o capacitate de 32 768 cuvinte iar la o adresă arbitrară din această memorie, fie aceasta adresa 15 771, s-a înregistrat o informație care reprezintă cantitatea în ciment consumată la blocul X.

Recapitulînd cele enunțate pînă în prezent, se poate afirma că totalitatea elementelor bistabile care alcătuiesc o memorie cu lungime de cuvînt fixă formează o matrice dreptunghiulară în care fiecare linie reprezintă un cuvînt, iar coloana indică poziția bitului în sistemul de numerație binar.

După poziția lor în circuitul informațiilor prin calculator, dispozitivele de memorare sînt de mai multe feluri:

1) *Dispozitive de memorare cablate în interiorul procesorului central*, destinate memorării operanzilor care iau parte la operațiile în curs de efectuare, la memorarea instrucțiunilor, indicilor etc. numite în general *registre.*

Principalele tipuri de registre cu care este echipat un procesor central și care interesează pe cel care exploatează un calculator electronic sînt:

— *registrele acumulatoare*, în care sînt păstrate rezultatele operațiilor precedente și care formează la majoritatea calculatoarelor unul din operanzi, care va lua parte la operația următoare;

— *registrele index* în care se păstrează indicii care definesc modificările adreselor instrucțiunilor variabile (rolul acestora va fi explicat în detaliu în cap. XXII).

— *registrele de instrucțiuni* în care se păstrează instrucțiunea în curs de executare, precum și diferite alte informații rezultate din prelucrarea acesteia.

În general, se subînțelege că un registru nu poate memora decît cel mult un cuvînt, uneori doar fracțiuni din cuvînt.

2) *Memoria operativă* este un dispozitiv de memorare a mai multor cuvinte, avînd calitatea că permite procesorului central să extragă oricare din cuvintele înregistrate în ea. Spunem că memoria operativă este *adresabilă*. Timpul scurs din momentul în care procesorul central se adresează la memoria operativă pînă în momentul cînd întreaga informație conținută în adresa respectivă a fost transferată într-unul din registrele procesorului central poartă numele de *timp de acces la memorie* și este o caracteristică de bază a acesteia, care condiționează însăși performanțele întregului ansamblu electronic de calcul.

S-au realizat diferite tipuri constructive de memorii operative. Cele mai importante sînt:

a) *memoria cu toruri din ferită*, în care fiecărui bit îi corespunde um miez toroidal din pulbere de ferită presată. Printre toruri trec conductoare care servesc la înregistrarea, citirea și refacerea informațiilor (fig. XX.15). S-au construit memorii la care fiecărui bit îi corespund două ferite, cea de a doua reprezentînd întotdeauna starea complementară primei ferite. Aceste tipuri de memorii au avantajul unei încărcări constante a amplificatoarelor, precum și existența simultană cu informația a complementului acesteia, dar au dezavantajul unui cost dublu.

Calitățile memoriei cu ferită sînt extrem de variate, datorită în primul rînd caracteristicilor magnetice ale feritelor. S-a urealizat memorii operative cu ferite avînd un timp de acces de ordinul milisecundelor, ceea ce permite realizarea unor

Scanned with OKEN Scanner

calculatoare cu performanţe de ordinul miilor de operaţii pe secundă. Tot din ferită s-au realizat memorii operative cu calităţi mult superioare, avînd timpul de acces de ordinul microsecundelor, ceea ce a permis realizarea unor calculatoare cu performanţe de ordinul sutelor de mii de operaţii pe secundă;

b) *memoria peliculară* realizată prin depunerea de pelicule metalice în vid, cu scopul de a micşora cît mai mult dimensiunile elementelor bistabile, condiţie esenţială pentru reducerea timpului de acces la memorie. În acest fel s-au obţinut rezultate de ordinul fracţiunilor de microsecundă, permiţînd realizarea unor calculatoare cu performanţe de ordinul milioanelor de operaţii pe secundă.

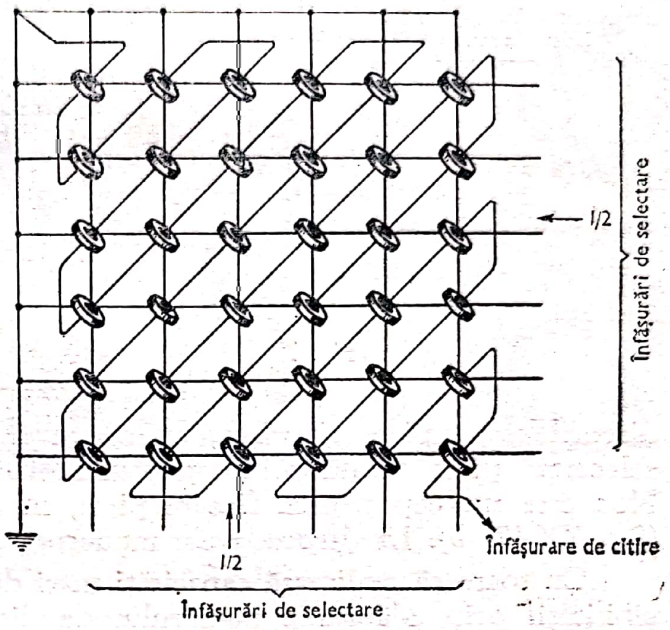


Fig. XX.15

3) *Memoria periferică* este destinată depozitărilor masive de informaţii. Spre deosebire de memoria operativă la care fiecare adresă este accesibilă procesorului central, memoria periferică nu este adresabilă. Este drept că şi în memoria periferică informaţiile sînt ordonate, dar procesorul central nu are acces direct la ele.

Pentru a putea face uz de informaţiile depozitate în memoria periferică, este necesar ca acestea să fie transferate în memoria operativă, de unde pot fi prelucrate de către procesorul central. Aceste transferuri nu se efectuează adresă cu adresă, ci în grupuri de informaţii constituind un *bloc*. Numărul informaţiilor (cuvintelor) depozitate într-un bloc este o caracteristică a memoriei periferice respective.

Pentru a putea depozita o cît mai mare cantitate de informaţii,memoriile periferice sînt toate realizate ca *memorii cu mecanism*, făcînd în acest fel concesie vitezei de lucru în favoarea sporirii cantităţii de informaţii depozitabile.

Se cunosc următoarele tipuri mai răspîndite de memorii periferice:

a) *memoria pe tambur magnetic*, folosită la unele tipuri mai vechi de calculatoare drept memorie operativă, este formată dintr-un tambur pe suprafaţa căruia s-a depus un strat feromagnetic. Tamburul este învîrtit continuu în jurul axului său cu ajutorul unui motor electric sincronizat. În apropierea stratului sensibil sînt plasate capetele electromagnetice de înregistrare-redare, cu ajutorul cărora se pot face înregistrări şi citiri de informaţii. Selectarea blocului de informaţii se face atît prin selectarea capului corespunzător, cît şi în timp, cu ajutorul unor impulsuri standard, înregistrate pe un canal de sincronizare situat pe acelaşi tambur (fig. XX.16).

Scanned with OKEN Scanner

Memoria periferică pe tambur magnetic permite înregistrări de ordinul unei sute de mii de informaţii, performanţă insuficientă actualelor necesităţi de stocare a informaţiilor.

Dat fiind însă că timpul mediu de acces la acest tip de memorie este inferior altor tipuri, memoria periferică pe tambur se foloseşte de obicei pentru păstrarea bibliotecii de programe;

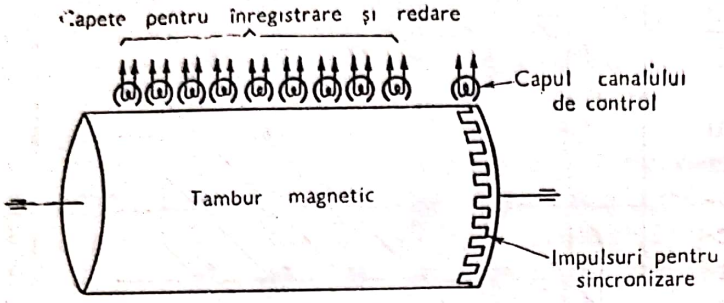


Fig. XX.16

b) *memoria pe discuri magnetice* este realizată prin suprapunerea unor discuri acoperite cu o peliculă feromagnetică, distanţate între ele, pe acelaşi ax care asigură rotirea întregului pachet de discuri.

Informaţiile sînt înregistrate sau citite de pe feţele discurilor, pe piste circulare, cu ajutorul unor capete electromagnetice care selectează pista dorită prin deplasare radială (fig. XX.17, *a*) sau sînt situate în bloc cîte un cap pentru fiecare pistă, în care caz selectarea este electronică (fig. XX.17, *b*). La dispozitivele moderne, axul discurilor este vertical.

Cu toate că realizează capacităţi mari de memorare şi are avantajul extensibilităţii prin adăugarea numărului de discuri necesar, memoria pe discuri magnetice nu a cunoscut încă o răspîndire atît de largă, datorită complicaţiilor mecanice;

Memoria periferică tip ICT 1956 cu discuri magnetice, prezentată în fig. XX.18, poate depozita 31,5 milioane caractere pe o unitate de memorare;

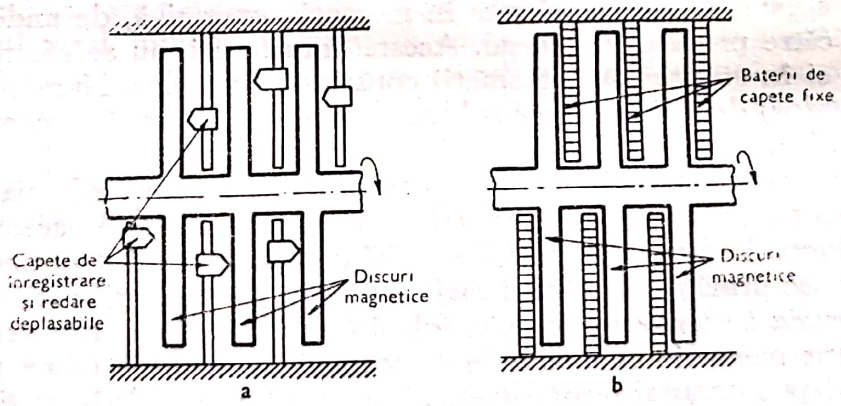


Fig. XX.17

c) *memoria pe bandă magnetică* este realizată după principiul înregistrării informaţiilor pe suport din bandă (panglică) magnetică, ilustrat în fig. XX.5. Spre deosebire de dispozitivele de intrare şi ieşire echipate cu bandă magnetică,

a care mişcarea benzii se face într-un singur sens iar funcţiunile sînt numai de redare, respectiv de înregistrare, memoria pe bandă magnetică permite:

— deplasarea benzii în ambele sensuri, în vederea selectării blocului de informaţii dorit:

— înregistrarea informaţiilor în bloc;

— redarea informaţiilor în bloc.

Datorită capacităţii de memorare ridicată, a siguranţei în exploatare, a vitezei de lucru acceptabile, a mecanismelor relativ simple şi uşor de întreţinut, precum şi costului relativ redus, aceste dispozitive sînt cele mai răspîndite memorii periferice actuale.

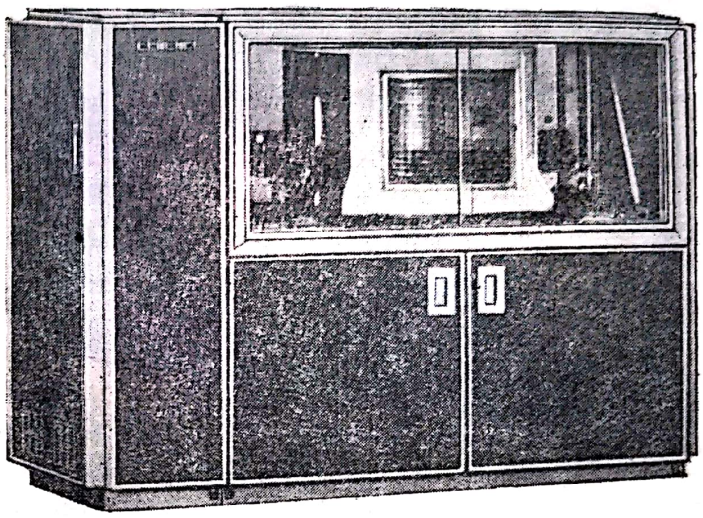


Fig. XX.18

Principiul de funcţionare al tipurilor de memorie periferică IBM este ilustrat în fig. XX.19, în care s-a notat cu + suprapresiunea şi cu — subpresiunea în compensatorul pneumatic care asigură pornirea bruscă şi frînarea benzii pe intervalul dintre două caractere, fără a produce eforturi de întindere în bandă.

În fig. XX.20 este arătat un sistem de patru unităţi de memorie periferică pe bandă magnetică folosit la calculatoarele electronice din seria ICT 1900. Viteza de lucru realizată la aceste dispozitive în procesul de citire sau scriere este de circa 1 m bandă pe secundă. Densitatea de caractere înregistrate pe banda magnetică este de circa 250 caractere pe centimetru.

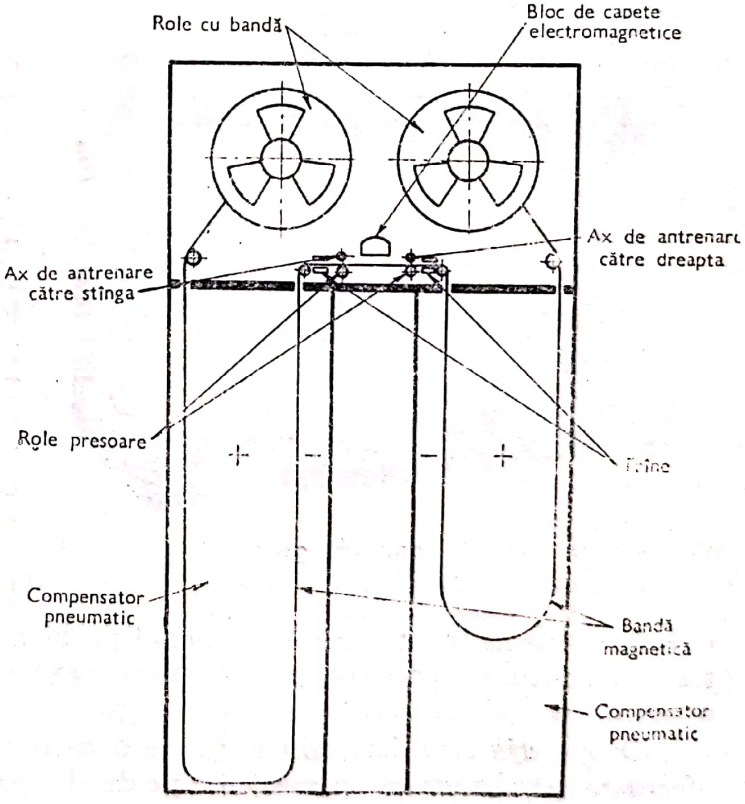


Fig. XX. 19

d) *memoria periferică* pe cartele magnetice reuneşte calităţile dispozitivelor de introducere şi extragere a da-

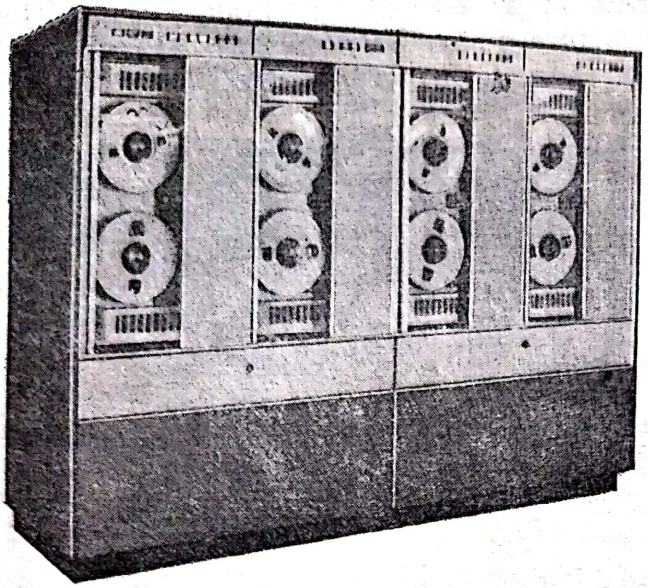


Fig. XX. 20

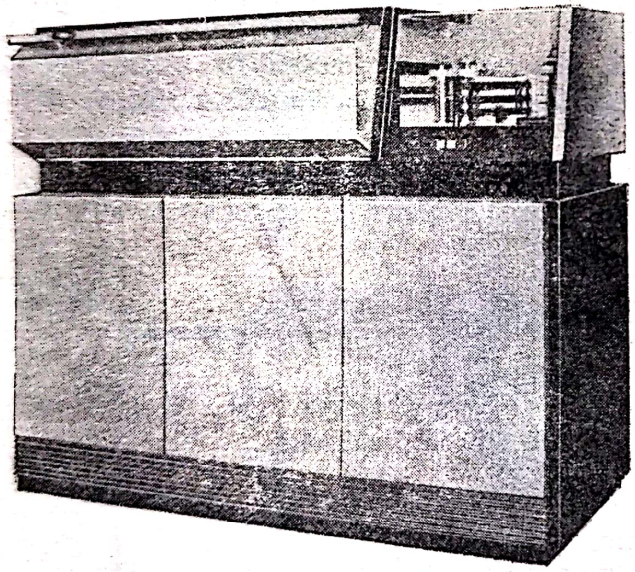


Fig. XX. 21

telor pe cartele magnetice, realizînd capacităţi de memorare imense. Folosită cu precădere în sistemele de prelucrare a datelor, este încă puţin răspîndită datorită apariţiei sale relativ recente.

În fig. XX.21 este prezentată memoria periferică tip ICT 1958 cu cartele magnetice, capabilă să depoziteze pînă la 680 milioane caractere pe o unitate de memorare.

d. PROCESORUL CENTRAL

Menit să conducă procesul de calcul prin efectuarea operaţiilor aritmetice şi logice indicate în programul de calcul, să comande operaţiile nearitmetice executate de dispozitivele periferice şi să controleze fiecare pas executat, procesorul central are o organizare interioară complexă.

Vom căuta să restrîngem funcţiunile procesorului central nu după caracteristicile constructive sau după structura sa logică, ci după felul cum sînt prelucrate informaţiile de către procesorul central. Considerăm că în acest fel vom da principiile funcţionării procesorului central, făcînd cît mai puţine concesii rigurozităţii.

Pentru a înţelege modul de lucru al procesorului central, trebuie arătat că, pentru rezolvarea unei probleme este necesar a indica într-un fel calculatorului fiecare operaţie ce trebuie executată, precum şi ordinea în care operaţiile trebuie executate.

O operaţie este determinată pe de o parte prin mărimile care participă la efectuarea ei, denumite operanzi, iar pe de altă parte prin procesul la care participă aceşti operanzi.

Scanned with OKEN Scanner

Informaţia referitoare la procesul de prelucrare la care trebuie supuşi operanzii se numeşte *ordin*. Reuniunea celor două informaţii care determină univoc o operaţie, respectiv informaţia despre ordin şi informaţia despre operanzi, reprezintă o unitate informaţională denumită *instrucţiune*.

Apare deci necesară descompunerea rezolvării problemei respective în operaţii elementare şi indicarea acestora sub formă de instrucţiuni, într-o ordine bine precizată, procesorului central.

Mulţimea ordonată a tuturor acestor instrucţiuni alcătuieşte ceea ce se numeşte *programul de lucru* al calculatorului pentru rezolvarea problemei respective.

Pentru a putea fi corect interpretate în procesorul central, instrucţiunile trebuie exprimate sub o formă numerică adecvată. Această exprimare se efectuează prin intermediul unui limbaj de programare, propriu calculatorului pentru care se elaborează programul, în care fiecărei operaţii îi corespunde un cod numeric.

Exprimată într-un astfel de limbaj, o instrucţiune va avea informaţia despre ordin reprezentată prin numerele alocate în codul calculatorului pentru operaţia respectivă, iar în partea care dă informaţii asupra operanzilor sînt indicate adresele din memoria operativă unde se găsesc operanzii respectivi. Se spune pe scurt că o instrucţiune cuprinde o *parte de ordin* şi o *parte de adresare*.

Pentru a putea fi accesibile procesorului central, atît programul de calcul cît şi datele numerice ale problemei respective (operanzii) sînt introduse în memoria operativă a calculatorului. Se pune deci problema ca procesorul să recunoască din această mulţime de informaţii, care anume reprezintă instrucţiuni ale programului şi respectiv, care anume sînt date numerice.

Această interpretare corectă a informaţiilor memorate este posibilă deoarece alocarea adreselor din memorie pentru program şi respectiv pentru datele numerice se face după anumite reguli. Astfel, pornirea procesorului central se face întotdeauna prin indicarea primei *instrucţiuni din program*, iar trecerea la instrucţiunea următoare este lesnicioasă deoarece instrucţiunile sînt aşezate în memorie la adrese succesive. Oprirea calculului este ordonată printr-o instrucţiune corespunzătoare din program.

Schema logică simplificată a unui procesor central, prezentată în fig. XX.22, indică felul în care sînt efectuate operaţiile.

1) Comanda de pornire primită de la pupitrul de comandă indică blocului *1* adresa de la care începe programul. Se execută citirea din memoria operativă a instrucţiunii respective din program.

2) Fiind astfel informat despre instrucţiunea pe care o are de executat, procesorul central separă, în interiorul blocului 2, această instrucţiune, în cele două informaţii constituente: ordin şi adresare. Această operaţie este numită *decodificarea* instrucţiunii.

3) Informaţia referitoare la ordin este introdusă în blocul 3, care pune în stare activă toate circuitele şi dispozitivele capabile să execute ordinul respectiv.

4) Informaţia referitoare la adresele operanzilor este introdusă în blocul *4* care, prin acces la memoria operativă, extrage din aceasta operanzii indicaţi în partea de adresare a instrucţiunii. În acest moment, procesorul central este

Scanned with OKEN Scanner

în posesia valorilor numerice ale operanzilor şi are dispozitivele aritmetice şi logice pregătite pentru executarea ordinului indicat prin instrucţiune.

5) În blocul *5* se execută ordinul. Fiecare ordin posibil de efectuat de către un calculator electronic are particularităţile sale, dar se deosebesc cîteva categorii mai importante:

a) ordine de efectuare a unor operaţii aritmetice şi logice, cu operanzii pregătiţi în blocul *4*. În acest caz, rezultatul se păstrează în blocul *6*;

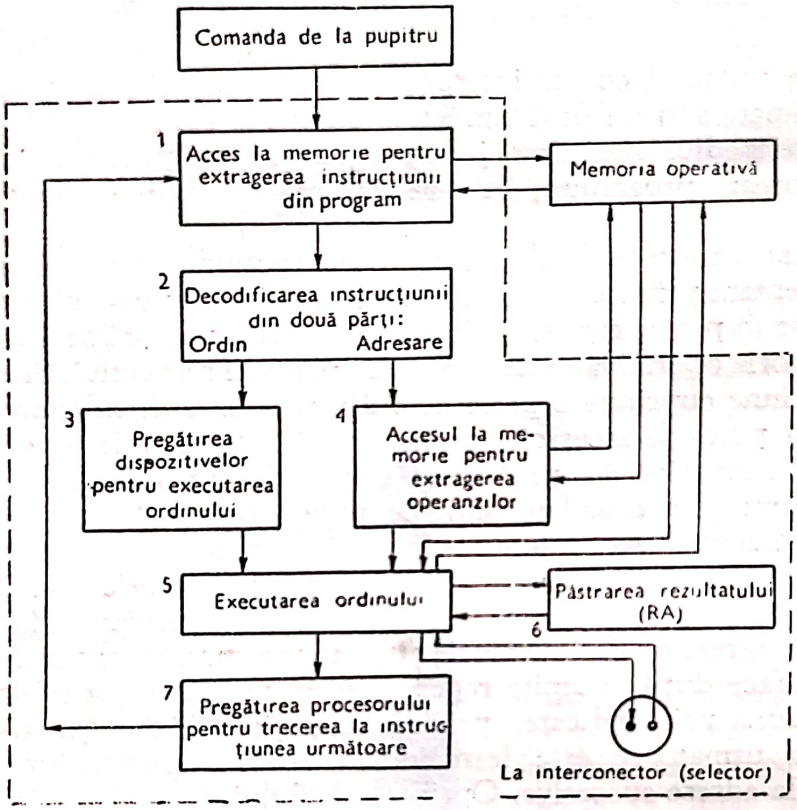


Fig. XX.22

b) ordine de operare asupra memoriei, posibile de executat prin legătura între blocul *5* şi memoria operativă. Astfel sînt schimburile de informaţii între procesorul central şi memorie (citire sau înscriere în memorie), schimburi de informaţii între memoria operativă şi dispozitivele periferice, operaţii aritmetice şi logice cu rezultatul obţinut direct în memorie etc.;

c) ordine privind modificarea succesiunii naturale a instrucţiunilor în executarea programului, care operează pe legătura dintre blocurile *5* şi 7. Acestea se mai numesc şi ordine de *transfer al controlului*;

d) ordine pentru cuplarea unor dispozitive periferice executate prin legătura selectivă între blocul *5* şi interconector.

6) În blocul *6* se păstrează rezultatul operaţiei precedente. Elementul de memorare a acestui rezultat se numeşte *registru acumulator*.

7) În blocul 7 se pregăteşte procesorul central pentru trecerea la instrucţiunea următoare din program. Aceasta se face fie în ordinea naturală a adreselor programului în cazul ordinelor din categoriile a, b şi d, fie prin trecerea la o instrucţiune care nu mai este în ordine naturală, cînd printr-un ordin de transfer al controlului se indică la partea de adresare locul acestei „instrucţiuni următoare" în memorie.

Calculul se reia de la blocul *1*, care extrage din memorie instrucţiunea următoare din program, procesorul central parcurgînd ciclic blocurile funcţionale analizate mai înainte pentru fiecare instrucţiune în parte, pînă la epuizarea programului, la sfîrşitul căruia trebuie să existe obligatoriu o instrucţiune de oprire.

Toate operaţiile amintite se desfăşoară sub controlul riguros al unor dispozitive alcătuind *sistemul de control central*, care urmăreşte realizarea operaţiilor după anumite criterii şi în succesiune normală. Sistemul de control central a fost marcat în fig. XX.22.

Totalitatea circuitelor capabile să efectueze operaţiile aritmetice şi logice cuprinse în codul de instrucţiuni al unui calculator electronic se numesc de obicei *sistemul aritmetic şi logic* al calculatorului respectiv şi reprezintă de fapt corespondentul fizic al blocului funcţional *5* din fig. XX.22.

XXI

TELEGESTIUNEA

1. METODE DE TELEGESTIUNE

a. SCURTĂ PREZENTARE

Dispersarea unităţilor productive pe teritoriu şi imposibilitatea instalării unor calculatoare electronice la fiecare din acestea pune problema de omogenitate a metodelor de organizare a proceselor de producţie.

Într-adevăr, acele întreprinderi care se situează în apropierea centrelor de calcul, pot trece la organizarea ştiinţifică, avînd şanse de a primi cu operativitate datele prelucrate. Nu la acelaşi rezultat se pot aştepta întreprinderile situate la distanţă mare de centrele de calcul, care vor suferi, pe lîngă lipsa de operativitate, şi de costuri mai ridicate ale calculelor.

Această situaţie nu este atît de jenantă pentru întreprinderea în cauză, cît este pentru forul său tutelar, care se vede pus în situaţia de a-şi organiza o dublă metodologie de calcul, şi anume prelucrarea automată la unele întreprinderi, simultan cu prelucrarea manuală la alte întreprinderi. Este evident că, din cauza întîrzierilor, a impreciziei şi a imposibilităţii organizării unei prelucrări manuale

Scanned with OKEN Scanner

analitice, pentru forul tutelar se pierd multe din avantajele obţinute din primirea parţială a unor date prelucrate automat.

Apare necesitatea stringentă ca automatizarea prelucrării datelor să cuprindă toate unităţile economice situate sub nivelul ierarhic al forului care beneficiază de aceste calcule.

Pornind de la acest principiu de cea mai mare importanţă în organizarea prelucrării automate a datelor, se va obţine eficienţă economică prin calcule automate numai dacă:

— dorind să organizăm un centru de calcul de dimensiuni reduse, la nivelul unei întreprinderi, avem grijă ca toate punctele de lucru din subordinea acesteia să fie cuprinse în sistemul automat de prelucrare a datelor;

— dorind să organizăm un centru de calcul de dimensiuni medii, la nivelul unui trust, avem grijă ca toate întreprinderile din subordine împreună cu toate subunităţile acestora pînă la cele mai elementare unităţi lucrative, să fie cuprinse în sistemul de prelucrare automată.

Principiul se extinde în aceeaşi măsură şi asupra centrelor de prelucrare a datelor de nivel departamental.

Cînd culegerea datelor de la unităţile cuprinse în sistemul de prelucrare automată, dispersate în teritoriu, se face prin transmitere de la distanţă pe linii de telecomunicaţie, spunem că sistemul de prelucrare automată a datelor s-a organizat după principiile telegestiunii.

Această noţiune este mult mai cuprinzătoare decît o arată numele, deoarece în afară de gestiunea automată, de la distanţă se pot da spre rezolvare unităţii centrale orice alt tip de probleme.

Telegestiunea este deci o metodă de organizare a relaţiilor între beneficiarii calculelor, pe de o parte, şi centrul de calcul, pe de altă parte, care permite legarea simultană a mai multor beneficiari de centrul de calcul, direct prin intermediul unor linii de telecomunicaţii. Informaţiile se transmit direct de la beneficiar sub forma de codificare numerică proprie sistemului, putînd conduce la unele sisteme moderne, pînă la suprimarea suporturilor intermediare ale informaţiilor. De obicei, prin aceleaşi linii, beneficiarii primesc răspunsurile la problemele lor. Mari avantaje se realizează prin acest sistem pentru serviciile centralizate, care pot avea o vedere de ansamblu asupra desfăşurării proceselor economice în toate unităţile din subordine.

Pe lîngă operativitatea ţinerii balanţelor activităţii economice a beneficiarilor, telegestiunea prezintă calitatea unei informări prompte a organizaţiilor centrale care au introdus în sistemul de telegestiune toate unităţile din subordine.

b. METODE DE ORGANIZARE A TELEGESTIUNII

În cele ce urmează vom folosi următorii termeni:

— *unitate centrală*, prin care se înţelege centrul de calcul echipat cu periferice necesare şi celelalte dispozitive de conectare a liniilor de transmitere;

— *terminale*, prin care se înţeleg posturile instalate la beneficiar.

Scanned with OKEN Scanner

Luînd în considerare modul în care se pot realiza din punct de vedere fizic, se deosebesc două tipuri de legături între unitatea centrală şi terminale:

— legături directe între unitatea centrală şi terminale numite legături *on-line*;

— legături indirecte, terminalele fiind legate cu dispozitive de tip periferic neconectate la unitatea centrală. Acestea sînt legăturile numite *off-line*.

Dacă se ia în consideraţie modul de transmitere a informaţiilor între posturile terminale şi unitatea centrală, sînt două sisteme de organizare:

— *telegestiunea instantanee*, în care postul terminal poate fi legat cu unitatea centrală ori de cîte ori devine necesar un schimb de informaţii;

— *telegestiunea de grup* în care legătura între posturile terminale şi unitatea centrală nu se stabileşte instantaneu la apariţia unei noi informaţii, ci periodic, după anumite reguli de atribuire a intervalurilor de timp. Între aceste intervale de timp, deopotrivă la toate posturile terminale neconectate, se acumulează informaţiile care se vor transmite în bloc o dată cu stabilirea legăturii între postul terminal respectiv şi unitatea centrală. Rezultatele prelucrării datelor primite de la posturile terminale sînt acumulate de asemenea în memoriile periferice ale unităţii centrale, pentru a fi comunicate cu prilejul realizării unei noi legături.

2. COMPONENŢII UNUI SISTEM DE TELEGESTIUNE

a. UNITATEA CENTRALĂ

Într-un sistem de telegestiune, unitatea centrală trebuie să satisfacă următoarele necesităţi funcţionale:

— să primească informaţiile fiecărui post terminal şi să le depoziteze în memorie numai în porţiunile libere rezervate terminalului respectiv.

Această funcţiune se numeşte *protecţie a memoriei* şi se realizează fie prin dispozitive cablate, fie cu ajutorul programului care guvernează procesul de telegestiune (acest tip de program se numeşte *program monitor*);

— să conecteze postul terminal pentru schimbul de informaţii conform cu programul orar de conectare, iar primirea informaţiilor să fie protejată de eventualitatea indisponibilităţii organelor sau dispozitivelor care iau contact cu acestea. De exemplu, memoria periferică încă nu este capabilă de a înregistra prima informaţie primită deoarece aşteaptă derularea benzii magnetice pînă la zona rezervată depozitării. Dacă în acest timp parvine de la terminal o nouă informaţie, acesta ar putea distruge prima informaţie, încă nedepozitată. Protejarea împotriva unei asemenea eventualităţi se face prin dispozitive de memorare tampon amplasate la dispozitivele de conectare a terminalelor;

— să efectueze calculele cerute de beneficiar, tot prin comandă de la distanţă, pentru datele numerice transmise şi să păstreze rezultatele pentru următoarea conectare a liniei.

În fig. XXI.1 este dată organizarea unei unităţi centrale într-un sistem de telegestiune.

Scanned with OKEN Scanner

Calculatorul electronic al unităţii centrale are perifericele distribuite unor funcţii prestabilite. Astfel, o parte din memoria periferică este destinată stocării programelor din biblioteca posibilităţilor sistemului, urmînd ca introducerea acestora în memoria operativă să se facă ori de cîte ori un beneficiar solicită un asemenea program. Cea mai vastă porţiune din memoria periferică este des-

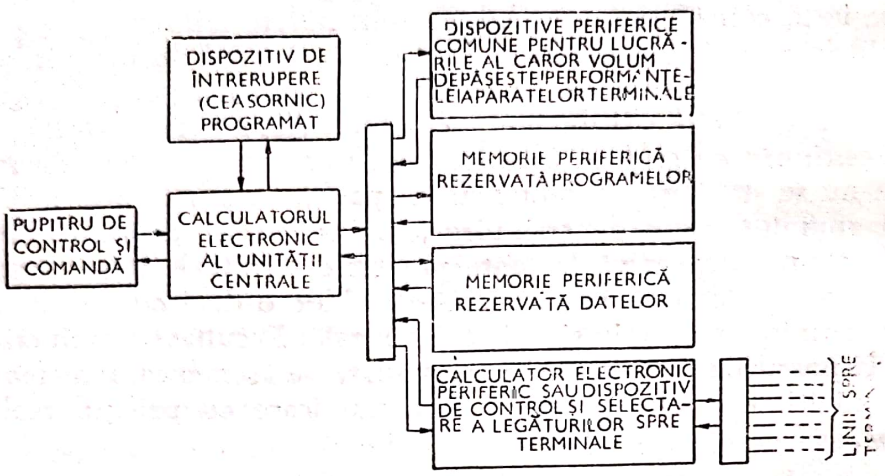


Fig. XXI.1

tinată stocării datelor. Asupra întregii memorii se extinde funcţiunea de protecţie a memoriei, absolut necesară într-un sistem de telegestiune.

Un set complet de dispozitive de intrare-ieşire şi alte periferice specifice profilului centrului de calcul sînt destinate lucrărilor al căror volum depăşeşte performanţele dispozitivelor terminale. Aceste dispozitive sînt puse la dispoziţia tuturor beneficiarilor, dar nu au acces prin telecomandă, ci acces direct prin comandă de la pupitrul calculatorului.

Pentru selectarea legăturilor spre liniile terminale şi stabilirea sensului legăturilor, unitatea centrală dispune de un dispozitiv de selectare care poate fi echipat cu relee electronice sau cu contacte. În cazurile unor raporturi mai complicate între beneficiari şi unitatea de calcul sau, atunci cînd diferenţa între viteza de transmitere pe linie şi viteza de lucru a calculatorului central este apreciabilă, rolul dispozitivului de selectare şi control al schimbului de informaţii pe liniile de legătură cu posturile terminate este preluat de unul sau mai multe calculatoare electronice periferice. Folosirea calculatoarelor electronice conduce la o ridicare vertiginoasă a randamentului unităţii centrale, mai cu seamă în cazul sistemelor de telegestiune echipate cu calculatoare electronice centrale de mare putere.

Un dispozitiv de întrerupere (ceasornic) programat asigură realizarea periodică a legăturilor cu posturile terminale şi întreruperea diferitelor legături, în conformitate cu programul de priorităţi şi cu planul de desfăşurare în timp a lucrărilor.

Scanned with OKEN Scanner

b. REȚELE DE TRANSMISIE

În funcție de importanța și lungimea legăturilor se pot utiliza următoarele tipuri de linii:

— *linii telegrafice* pentru transmisii de tip telex, cu o viteză de maximum 20 caractere/secundă (100 Bd). Transmisia se face în curent continuu, avînd două niveluri de tensiune +60 V și −60 V, informațiile fiind reprezentate în cod de impulsuri după sistemele telegrafice obișnuite sau după sisteme proprii calculatoarelor electronice folosite.

Deoarece în transmisia pe linie impulsurile sînt transmise în serie, iar în calculatorul electric impulsurile sînt paralele, intrarea unui semnal în linie se face numai printr-un traductor de tip serie-paralel;

— *linii telefonice*, folosite pentru transmisii la viteze mai mari, pînă la 300 caractere/secundă. Semnalele sînt modulate în frecvență, fiecărui „nivel" (0 sau 1) corespunzîndu-i o frecvență bine determinată. Pentru racordarea la o astfel de linie se folosesc dispozitive speciale de adaptare de tip modulator-demodulator;

— *linii radioreleu*, folosite pentru transmisii la viteze foarte mari, pînă la 100 000 caractere/secundă.

Liniile de transmisie folosite în telegestiune pot fi linii autonome, proprii sistemului de telegestiune respectiv, sau pot fi linii aparținînd rețelei publice. Mai sigure dar mult mai costisitoare, liniile autonome se folosesc numai în cazuri speciale.

c. POSTURILE TERMINALE

Destinat transmiterii și recepționării informațiilor, echipamentul terminal se conectează la rețeaua de transmisie prin intermediul adaptorilor adecvați tipului de rețea.

Echipamentul terminal este constituit din aparate de transmisie (emise) și recepție, aceste calități putînd fi reunite în aparate cu funcțiuni mixte de emisie-recepție sau formate din aparate specializate în transmisie și recepție.

Din categoria dispozitivelor mixte sînt aparatele tip teleimprimator care permit atît citirea cît și perforarea benzilor, dispozitivele de citire și perforare a cartelelor și mașinile de scris.

Ca dispozitive specializate în transmisie și respectiv în recepție se poate utiliza la posturile terminale orice tip de dispozitiv de intrare sau ieșire folosit curent ca periferic la calculatoarele electronice.

3. TELEGESTIUNEA INSTANTANEE

Între fiecare post terminal și unitatea centrală se realizează o legătură directă și permanentă, adică de tip on-line (fig. XXI.2).

Totodată, programul de guvernare a telegestiunii (monitorul) se întocmește de o manieră deosebită.

Scanned with OKEN Scanner

Postul terminal lansează un *mesaj-întrebare* către unitatea centrală și primește după un timp de la acesta un *mesaj de răspuns*. În intervalul de timp dintre aceste două mesaje, numit *timp de răspuns*, unitatea centrală efectuează calculele specifice tipului de întrebare pusă.

În cazul cînd simultan parvin la unitatea centrală mesaje-întrebare de la mai multe posturi terminale, monitorul organizează un fir de așteptare cu prioritate după criterii fixate de cel care organizează sistemul de telegestiune respectiv.

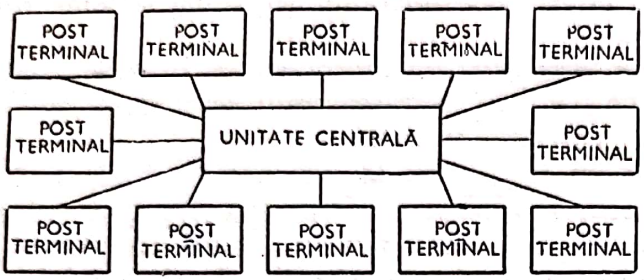


Fig. XXI. 2

În fig. XXI.3 este indicată schema de principiu a desfășurării procesului de schimb de mesaje între un post terminal și unitatea centrală, conectate în sistem de telegestiune instantanee.

În legătură cu telegestiunea instantanee, s-au dezvoltat sistemele de programare denumite *programare în timp real* (real time programming), *sistem cu distribuitor de timp* (time sharing system), *tratare multiplă* (multiprocessing) etc.

În aceste sisteme, beneficiarul unui post terminal dispune de un limbaj propriu sistemului, cu ajutorul căruia indică unității centrale care este programul cu care urmează să prelucreze datele transmise.

Programul monitor execută:

— înregistrarea datelor primite, acordîndu-le un indicator de prioritate;

— cu ajutorul unui program de translatare dinamică, mută în memoria operativă datele primite, în ordinea priorităților, problemele noi luînd pe rînd locul celor rezolvate;

— alocă timpul de rezolvare fiecărei probleme, după specificul ei, retrogradîndu-i gradul de prioritate dacă rezolvarea nu se sfîrșește în intervalul de timp alocat;

— ține evidența firului de așteptare al problemelor, acordînd controlul în așa fel încît timpul de așteptare relativ să fie minim.

4. TELEGESTIUNEA DE GRUP

Acumularea mai multor date face ca mesajul să fie mai voluminos. În acest fel crește atît randamentul transmisiei datelor pe linie, cît și al calculului propriu-zis.

Acest sistem se poate realiza atît prin legături on-line paralele (fig. XXI.4, *a*) sau serie (fig. XXI.4, *b*), avantajoase în cazul centrelor de calcul specializate în gestiune automată, cît și prin legături off-line (fig. XXI.5), avantajoase în cazul centrelor de calcul cu profil universal.

Scanned with OKEN Scanner

În telegestiunea de grup, o problemă de mare importanță este reprezentată de modul în care sînt acumulate datele între două transmisii. Sînt două sisteme:

— acumularea în intervale de timp constante; această metodă se caracterizează prin faptul că, la intervale de timp constante se realizează legătura între

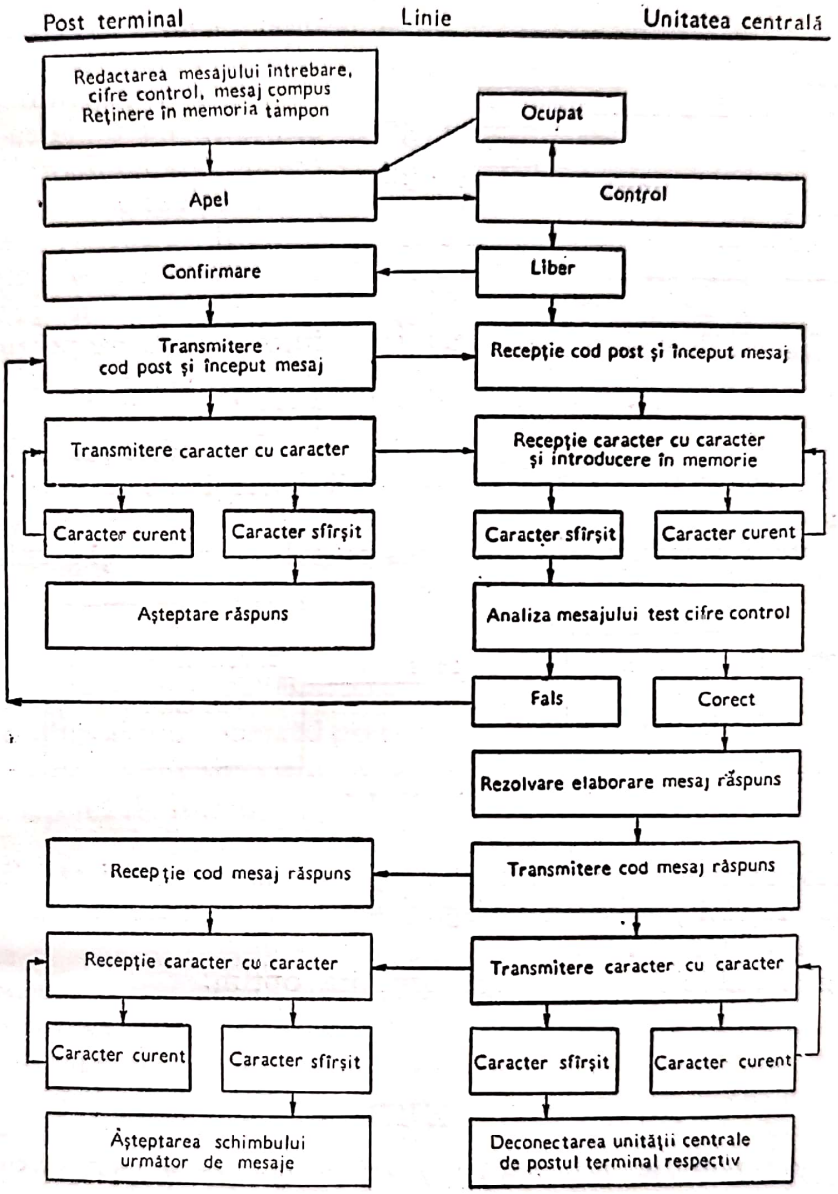


Fig. XXI. 3

terminal și unitatea centrală, indiferent de cantitatea de informații acumulată în grup;

— acumularea unor grupuri de informații de volum constant legătura realizîndu-se la atingerea acestui volum, indiferent de intervalul de timp în care s-a realizat acumularea acestui volum de date.

Scanned with OKEN Scanner

Exploatarea unei legături în sistemul telegestiune de grup comportă în principiu următoarele faze:

— acumularea de date la postul terminal, în intervalul de timp dintre două transmisii succesive. În acest timp unitatea centrală efectuează calcule cu datele transmise anterior de același post, precum şi legături cu alte posturi, calcule pentru alte posturi etc.;

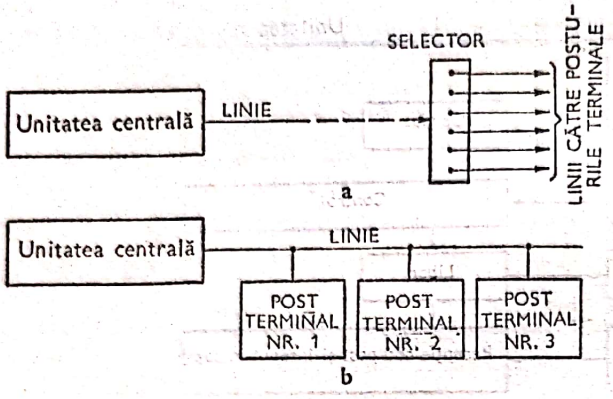


Fig. XXI. 4

— punerea în linie a postului terminal cu unitatea centrală. Această fază comportă apelul, controlul postului, al liniei şi al unității centrale, sincronizarea, ordinul de transmitere;

— schimbul propriu-zis de informații între postul terminal şi unitatea centrală. În această fază, postul terminal transmite un lot de date către procesorul central şi primeşte de la acesta rezultatele prelucrării lotului de date din transmisia precedentă;

— eliberarea liniei prin deconectarea postului terminal şi a unității centrale.

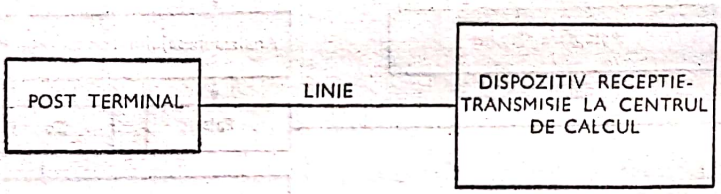


Fig. XXI. 5

Din acest moment, linia este liberă pentru alte comunicații (în cazul cînd linia aparţine reţelei publice de telegraf sau telefon), începînd un nou interval de acumulare a datelor.

Procesul fiind ciclic, se poate organiza optim.

XXII

NOŢIUNI DE PROGRAMARE A CALCULATOARELOR

1. PROGRAME EXPRIMATE ÎN CODUL CALCULATORULUI

a. INSTRUCŢIUNI, TIPURI ŞI STRUCTURI

Instrucţiunea este unitatea elementară de program.

Dependente de tipul calculatorului şi de lungimea cuvîntului, instrucţiunile cunosc o varietate care face dificilă catalogarea lor.

Pentru a da o imagine cît mai cuprinzătoare asupra instrucțiunilor calculatoarelor electronice, tratarea acestui subiect se va face din mai multe puncte de vedere.

Structuri de instrucțiuni. După cum s-a amintit în cap. XX structura unei instrucțiuni reflectă reuniunea a două informații distincte:

— o informație despre felul operației care trebuie executată de calculator la primirea instrucțiunii respective, numită *funcția* sau *codul operației* sau, pe scurt, *ordin*;

— o informație despre locul ocupat în memorie de operanzii care urmează să participe la efectuarea operației indicate în partea de ordin a instrucțiunii respective, numită *parte de adresare*.

La unele tipuri de calculatoare, datorită lungimii mari a cuvîntului (de exemplu calculatorul Control Data Corporation 1604 care are 48 biți, calculatorul CIFA 102 care are 32 biți) se întîlnesc *două instrucțiuni* într-un cuvînt. În cele ce urmează ne vom referi la calculatoarele cu o singură instrucțiune pe cuvînt, deoarece cazul a două instrucțiuni pe cuvînt se poate reduce la primul prin separarea instrucțiunilor.

După felul cum este organizată partea de adresare, se deosebesc:

— instrucțiuni de forma

ordin	adresă operand II

Aceasta este structura cea mai răspîndită datorită simplității sale. În acest caz, primul operand se găsește întotdeauna în registrul acumulator al calculatorului fie ca rezultat al unei operații precedente, aritmetice sau logice, fie ca urmare a executării unui ordin de citire a acestui operand din memorie;

— instrucțiuni de forma

ordin	adresă operand I	adresă operand II

Cu toate că aparent această structură ar fi mai avantajoasă deoarece cuprinde ambii operanzi, ea este puțin răspîndită. Cauza constă în faptul că, în urma unor măsurători statistice efectuate pe diferite programe, se poate constata că, din toate instrucțiunile cu doi operanzi, circa 75% se execută secvențial. În acest caz, informația despre primul operand este inutilă, aceasta găsindu-se în registrul acumulator ca rezultat al operației precedente. Deci, pentru 75% din instrucțiuni este mai indicată structura ordin-adresă operand II;

— instrucțiuni de forma

ordin	adresă operand I	adresă operand II	adresă III

În acest tip de structură, adresa III reprezintă fie adresa din memorie în care trebuie depus rezultatul operației, fie adresa la care se transferă controlul programului.

Scanned with OKEN Scanner

Se poate uşor constata că prima formă structurală face necesară o lungime de cuvînt mai mică decît celelalte, ceea ce se traduce prin costuri mult mai mici de fabricaţie ale calculatoarelor electronice respective.

Calculatoarele electronice moderne au o structură a instrucţiunilor întrucîtva mai complexă, folosind şi avantajele structurii cu doi operanzi. O asemenea structură cuprinde de obicei patru secţiuni:

— codul operaţiei;
— numărul registrului acumulator în care se găseşte primul operand;
— numărul registrului index;
— adresa celui de al doilea operand.

Schematic o asemenea instrucţiune se poate reprezenta astfel:

ordin	registru acumulator	registru index	adresă operand II

Partea de adresare

Folosirea mai multor registre acumulatoare s-a introdus de asemenea ca urmare a unor constatări de ordin statistic, şi anume că, din totalul instrucţiunilor la care primul operand nu este rezultat al operaţiei precedente, peste 70% sînt rezultate ale unor operaţii efectuate înaintea operaţiei în curs. Reţinerea acestor rezultate în diferite registre acumulatoare face posibilă reducerea procentului de folosire a unor adrese din memorie pentru depozitarea rezultatelor intermediare.

Faptul că numărul registrelor acumulatoare este relativ mic, lungimea informaţiei indicînd registrul acumulator este mult mai mică decît lungimea informaţiei despre o adresă din memorie. Astfel se obţine o instrucţiune cu doi operanzi fără a lungi cuvîntul în măsura în care o face tipul de instrucţiune cu două adrese.

Un lucru nou îl aduce în acest tip de instrucţiune modul în care se dă informaţia despre partea de adresare.

Pornind de la constatarea că operaţiile cu mărimi vectoriale, mulţimi ordonate etc. necesită introducerea acestora în memorie după reguli formale în corespondenţă cu legea după care sînt ordonate mulţimile, se afectează fiecărui element al mulţimii un indice i astfel încît, cunoscînd adresa A de la care începe introducerea în memorie a unei mulţimi ordonate oarecare E, un element $e_i \in E$ se va găsi în memorie la adresa $A+i$.

Se observă că, pentru toate elementele mulţimii E, adresa A este invariantă. Dacă putem construi o lege care să determine trecerea de la un element $e_i \in E$ la alt element $e_k \in E$ putem acţiona numai asupra indicelui i, în mod automat. La majoritatea calculatoarelor moderne s-a luat în consideraţie numai cazul în care legea de prelucrare a elementelor unei mulţimi ordonate, indiferent de natura ei, este în ordinea naturală a elementelor:

$$k=i+1$$

Introducerea unor registre speciale, numite *registre de indexare*, permite efectuarea determinării unui asemenea element astfel:

— mulţimea E este introdusă începînd de la adresa A;

— în registrul de indexare I este introdusă mărimea n reprezentînd numărul total de elemente din mulțimea E;

— o instrucțiune oarecare din program, arată că o anumită operație trebuie să se efectueze cu elementele acestei mulțimi:

ordin	registru acumulator	I	A

La executarea acestei operații, partea de adresare se construiește automat de procesorul central prin adunarea conținutului registrului index cu informația despre adresă A, astfel încît elementul extras din memorie ca operand va avea adresa*

$$\alpha = A + [I] = A + n.$$

După executarea operației indicate prin ordin, se modifică automat conținutul registrului index prin scăderea unei unități, operație care se notează**

$$[I] := [I] - 1.$$

În acest fel, la reluarea calculului, aceeași instrucțiune va executa aceeași operație, dar cu alt element al mulțimii E ca operand, și anume:

$$\alpha = A + [I] = A + (n-1).$$

La fiecare reluare a acestei porțiuni din program scăzînd din registrul index cîte o unitate, se ajunge să se parcurgă toate elementele mulțimii E, fază la care conținutul registrului index devine nul. În acest moment, reluarea calculului este întreruptă și se trece controlul programului la instrucțiunea următoare care a fost scrisă după instrucțiunea de modificare a indexului.

2. TIPURI DE INSTRUCȚIUNI

Notînd:

f — funcția aritmetică, logică sau nearitmetică care se aplică operanzilor, adică ordinul;
a — registrul acumulator;
i — registrul index;
β — adresa din memorie unde este depus operandul;
γ — un operand;
c — un cod indicînd o condiție;
q — un numărător al deplasărilor pozițiilor binare în registru;
r — un cod combinator suplimentar,

* Pentru a preciza că adunarea numărului care indică adresa A se face cu *conținutul registrului index* I și nu cu numărul I care este de fapt numărul de ordine al acestui registru s-a folosit includerea între paranteze drepte $[I]$.

** Semnele := sînt folosite în cele ce urmează ca un operator de atribuire indicînd că valoarea rezultată din efectuarea calculelor în dreapta operatorului := se atribuie elementului indicat în stînga sa.

Scanned with OKEN Scanner

și referindu-se deopotrivă la specificul operațiilor din cod ca și la celelalte informații conținute în instrucțiuni, se pot defini următoarele tipuri mai importante de instrucțiuni care se pot întîlni în codurile calculatoarelor electronice moderne.

a. INSTRUCȚIUNI DE TIPUL $f-a-i-\beta$

Instrucțiuni transmisive. Cu ajutorul acestor instrucțiuni se fac schimburi de informații între memorie și registre acumulatoare:

Citirea din memorie, în care caz conținutul adresei $\alpha=\beta+[i]$ este introdus în registrul acumulator a:

$$[a] := [\beta+[i]].$$

Înscrierea în memorie, în care caz conținutul registrului acumulator a este înscris în memorie la adresa $\alpha=\beta+[i]$, înscriere care distruge eventuala informație care s-ar fi găsit în această adresă:

$$[\beta+[i]] := [a].$$

Similare cu aceste instrucțiuni transmisive de bază, pot fi introduse în codul calculatorului și variante în care se transmite complementul conținutului sau transmisia are loc între adresă și o prelungire a registrului acumulator necesară în operațiile de înmulțire a numerelor subunitare la care rezultatul are un număr de cifre dublu față de lungimea registrului normal etc.

Instrucțiuni aritmetice. Din această categorie fac parte cele patru operații aritmetice elementare, însă avînd precizate o serie de particularități referitoare atît la configurația numerică a operanzilor cît și la modul de efectuare al acestor operații.

Se deosebesc:

a) operații cu numere exprimate în *virgulă fixă*, la care poziția virgulei este fixată de constructorul calculatorului. Acest sistem de reprezentare a numerelor necesită unele precauții la întocmirea programului, ca și la introducerea datelor numerice, referitoare al alinierea mărimilor față de virgula aritmetică.

Calculatoarele moderne au posibilitatea de a executa, prin instrucțiuni distincte cele patru operații aritmetice în virgulă fixă, atît cu *numere întregi* cît și cu numere fracționare;

b) operații cu numere exprimate în *virgulă mobilă*, la care poziția virgulei este indicată prin modul de scriere a numerelor, cu mantisă și exponent al bazei de numerație;

c) operații cu numere exprimate în *lungime dublă*, la care datorită preciziei mari impuse calculelor, numerele sînt înscrise în memorie în grupuri de cîte două adrese, reunirea a două adrese pentru un număr făcîndu-se după reguli proprii tipului de calculator electronic considerat;

d) operații aritmetice cu rezultatul obținut în memorie.

Instrucțiuni logice. În principiu, între conținutul registrului acumulator a și cel al adresei $\alpha=\beta+[i]$ se efectuează diferite operații logice cum ar fi reuniunea, intersecția etc.

Scanned with OKEN Scanner

Instrucțiuni index. Cu ajutorul acestor instrucțiuni se efectuează operații asupra registrelor de indexare:

Încărcarea indexului cu conținutul adresei β

$$[i]:=[\beta].$$

Transferul index, în care caz se controlează conținutul registrului index.

Dacă $[i]\neq 0$ se trece la executarea instrucțiunii din program de la adresa β, indiferent de poziția acestei adrese în program. Spunem că s-a *transferat controlul la adresa* β.

Dacă $[i]=0$ se trece la executarea instrucțiunii următoare din program, indiferent de informația β de la partea de adresă.

Modificarea indexului, adică efectuarea operației

$$[I]:=[I]-1$$

este la unele calculatoare codificată separat, iar la altele este asociată fie instrucțiunii aritmetice, fie instrucțiunii de transfer index.

Instrucțiuni speciale. Unele calculatoare moderne oferă prin codul lor bogat executarea diferitelor operații speciale de tipul $f-a-i-\beta$ cum ar fi investigări de diferite tipuri în memorie, transferul de date în memoria operativă etc.

b. INSTRUCȚIUNI DE TIPUL $f-a-i-q$

În această categorie intră:

- deplasarea registrului spre dreapta;
- deplasarea registrului spre stînga;
- deplasarea circulară spre dreapta;
- deplasarea circulară spre stînga;

cu sau fără participarea bitului semn la deplasare. Numărul de poziții binare cu care se deplasează registrul acumulator a este indicat de valoarea lui q în cazul $i=0$, sau de valoarea $q+[i]$ în cazul $i\neq 0$.

Această categorie de instrucțiuni este folosită în tehnica programării calculelor la programarea algoritmilor pentru efectuarea diferitelor operații numerice necuprinse în codul calculatorului respectiv.

c. INSTRUCȚIUNI DE TIPUL $f-a-i-y$

Sînt cazuri cînd valoarea operandului nu depășește numărul de poziții afectat părții de adresare β. Aceste cazuri sînt numeroase în tehnica programării calculelor, mai cu seamă dacă se ține seama de porțiunile din program în care se construiesc și se modifică însăși instrucțiunile programului.

Scanned with OKEN Scanner

În asemenea situații, cei doi operanzi ai instrucțiunii sînt $[a]$ și $[y]$. Cele mai răspîndite instrucțiuni de acest tip sînt transmisive, valoarea operandului y, fiind înscrisă fie în registrul acumulator a, fie în registrul index i.

d. INSTRUCȚIUNI DE TIPUL $f-a-c-\beta$

Dacă c este codul unei condiții și această condiție este îndeplinită, operația f se execută. Dacă această condiție nu este îndeplinită, nu se execută nici o operație și se trece la instrucțiunea următoare.

De obicei condiția se cere să fie îndeplinită de conținutul registrului acumulator, a, iar funcția f poate fi:

— un transfer al controlului la adresa β din program;

— un transfer selectiv al controlului;

— un stop selectiv.

De exemplu, în cazul transferului controlului se pot considera următoarele condiții

c_1 cînd $[a]\geqslant 0$
c_2 cînd $[a]>0$
c_3 cînd $[a]=0$
c_4 cînd $[a]<0$
c_5 cînd $[a]\leqslant 0$
c_6 cînd $[a]\neq 0$.

e. INSTRUCȚIUNI DE TIPUL $f-c-r$

Sînt folosite numai pentru operațiile legate de echipamentele periferice.

În general f are o valoare constantă care este de fapt codul operației „legătură cu echipamentul periferic".

Condiția c se referă la tipul echipamentului periferic selectat.

Codul combinator r indică natura operației care se solicită a se efectua cu echipamentul periferic respectiv.

3. PROGRAME ÎN COD CALCULATOR

Să considerăm un calculator electronic avînd un cod de instrucțiuni modern, cu structura ca aceea analizată în paragraful precedent, la care ne propunem să programăm calcularea unei expresii simple de tipul $\frac{mn}{p}$.

Codul calculatorului are următoarele particularități:

— cînd registrul index $i=0$, nu se efectuează nici o modificare de adresă, considerîndu-se ca operand chiar adresa β;

— modificarea registrului index se face o dată cu executarea instrucțiunii *transfer index*.

Datele și programul pentru calculul expresiei menționate mai înainte pot fi scrise după cum urmează:

— programul de calcul se introduce în memorie începînd cu adresa $\alpha+1$;
— valoarea m se înscrie în adresa M;
— valoarea n se înscrie în adresa N;
— valoarea p se înscrie în adresa P.

Adresa instrucțiunii de program	Instrucțiunea				Calculatorul execută
	Ordinul	Registrul: acumulator	Registrul: index	Adresa	
$\alpha+1$	Citește din memorie	a	0	M	Conținutul adresei M este citit din memorie și introdus în registrul acumulator a.
$\alpha+2$	Înmulțește	a	0	N	Conținutul registrului acumulator a este înmulțit cu conținutul adresei N. Se efectuează deci produsul $[a]\,[N]=[M]\,[N]=mn$ care se obține ca rezultat acumulator a
$\alpha+3$	Împarte	a	0	P	Conținutul registrului acumulator a este împărțit la conținutul adresei P, deci $[a]:[P]=\frac{mn}{p}$. Rezultatul se obține în registrul acumulator a
$\alpha+4$	STOP necondiționat	0	0	0	Calculatorul se oprește

Atunci cînd sînt însă de efectuat k asemenea operații cu elementele $m_j \in M$; $n_j \in N$; $p_j \in P$; $(j=1, 2, \ldots, k)$, folosind relația

$$\frac{m_j n_j}{p_j}$$

va trebui să introducem un registru index pe care să-l încărcăm cu numărul k de elemente din fiecare mulțime M, N și P, iar în memorie să rezervăm un spațiu pentru depozitarea rezultatelor r_j într-o mulțime ordonată R.

Dacă introducem numărul k în adresa K, programul corespunzător acestui calcul devine

Adresa instrucţiunii din program	Instrucţiunea				Calculatorul execută
	Ordinul	Registrul: acumulator	Registrul: index	Adresa	
$\alpha+1$	Încarcă indexul	0	i	K	Conţinutul adresei K este introdus în registrul index i $[i] := [K]$
$\alpha+2$	Citeşte din memorie	a	i	M	Conţinutul adresei $M+[i]$ este introdus în registrul acumulator a
$\alpha+3$	Înmulţeşte	a	i	N	Conţinutul registrului acumulator a este înmulţit cu conţinutul adresei $N+[i]$, rezultatul se obţine în registrul acumulator a
$\alpha+4$	Împarte	a	i	P	Conţinutul registrului acumulator a este împărţit la conţinutul adresei $P+[i]$, rezultatul se obţine în registrul acumulator a
$\alpha+5$	Depune în memorie	a	i	R	Conţinutul registrului acumulator a, adică rezultatul $r_j=\frac{m_j n_j}{P_j}$ este depus în memorie la adresa $R+[i]$, în care $[i]=j$
$\alpha+6$	Transfer index	0	i	$\alpha+2$	Conţinutul registrului index i este diminuat cu o unitate $[i] := [i]-1$ şi dacă rezultatul este diferit de zero se reia calculul de la adresa $\alpha+2$, cu conţinutul indexului astfel modificat. Dacă $[i]=0$, se trece la instrucţiunea următoare de la adresa $\alpha+7$.
$\alpha+7$	STOP necondiţionat	0	0	0	Calculatorul se opreşte

Întrucît informaţiile conţinute în aceste instrucţiuni trebuie introduse sub o formă posibil a fi interpretată de procesorul central, să presupunem că pentru tipul de calculator pe care-l avem la dispoziţie s-a elaborat următorul cod al operaţiilor:

încarcă indexul	→50	depune în memorie	→14
citeşte din memorie	→13	transfer index	→51
înmulţeşte	→21	stop necondiţionat	→77.
împarte	→22		

Programul redactat mai înainte, devine:

$\alpha+1$ $\quad 50-0-i-K$
$\alpha+2$ $\quad 13-a-i-M$
$\alpha+3$ $\quad 21-a-i-N$
$\alpha+4$ $\quad 22-a-i-P$
$\alpha+5$ $\quad 14-a-i-R$
$\alpha+6$ $\quad 51-0-i-(\alpha+2)$
$\alpha+7$ $\quad 77-0-0-0.$

Această formă de program se mai numește *program în cod calculator cu adrese relative* și este o fază intermediară la elaborarea manuală a unui program, neexecutabilă însă sub această formă de către un calculator electronic.

Pentru a definitiva programul, este necesar să se precizeze parametrii săi. Se alege arbitrar amplasarea în memorie a datelor și programului, precum și numărul registrului acumulator și al indexului:

registrul acumulator $a=3$

registrul index $\quad i=5$
$\alpha=0000$
$K=0020$
$M=1000$
$N=2000$
$P=3000$
$R=4000$

Programul definitiv ia forma

0001 $\quad 50-0-5-0020$
0002 $\quad 13-3-5-1000$
0003 $\quad 21-3-5-2000$
0004 $\quad 22-3-5-3000$
0005 $\quad 14-3-5-4000$
0006 $\quad 51-0-5-0002$
0007 $\quad 77-0-0-0000$

care se numește și *program în cod calculator cu adrese absolute* și este singura formă de program executabilă de către un calculator electronic.

4. PROGRAME EXPRIMATE ÎN LIMBAJE ALGORITMICE DE PROGRAMARE AUTOMATĂ

Elaborarea programelor complexe direct în codul calculatorului electronic folosit este o muncă foarte dificilă, conduce la pierderi mari de timp și la necesitatea folosirii unui număr mare de specialiști programatori la centrele de calcul.

Constatîndu-se că de fapt exprimarea în limbaj matematic a problemelor nu este atît de complicată cum rezultă din programul de calcul, s-a căutat să

se găsească posibilitatea de a expune algoritmii sub o formă care să poată, prin prelucrare de către un calculator electronic, să genereze însăşi programul de calcul dorit.

Dat fiind că limbajul matematic uzual nu este suficient de bine definit ca limbaj, enunțarea unei probleme neputîndu-se lipsi de comentarii şi precizări exprimate în limbaj comun, s-au elaborat unele limbaje formale care să permită exprimarea algoritmilor.

Se cunosc următoarele tipuri de limbaje de programare:

— *limbaje orientate pe calculator*, ale căror instrucțiuni realizează funcții similare condurilor calculatoarelor respective. Din această categorie fac parte codurile mnemonice şi limbajele de asamblare;

— *limbaje orientate pe procedură*, ale căror instrucțiuni sînt astfel concepute încît să înlesnească programarea diferitelor proceduri matematice de rezolvare. Din această categorie fac parte următoarele limbaje: PL/1 utilizate la sistemele IBM/360, FORTRAN, ALGOL şi alte limbaje de circulație mai restrînsă;

— *limbaje orientate pe problemă*, care permit rezolvarea unor anumite tipuri de probleme fără a mai fi necesară programarea procedurilor de rezolvare. Din această categorie se remarcă limbajele: GPSS (General Purpose Simulation System) utilizat pentru simularea proceselor, PMS (Project Management System) utilizat pentru probleme de planificare şi grafuri PERT, precum şi alte limbaje specializate (SSP, MPS etc.) dezvoltate în cadrul sistemelor de operare ale calculatoarelor IBM/360.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

LUCRĂRI GENERALE DE ORGANIZARE, CERCETARE OPERAȚIONALĂ, CALCUL ECONOMIC

Cărți

1. Aurian, T., Boldur, Gh., Lazăr, S. *Cercetarea operațională în construcții.* București, Editura științifică, 1967.
2. Chevalier, T. *Organisation.* Paris, Ed. Dunod, 1964.
3. Churchmann, C. W., Ackoff, R. L., Arnoff, L. E. *Eléments de recher che opérationnelle.* Paris, Ed. Dunod, 1961.
4. Cooper, W. N. *New perspectives in organization research.* New York — London, Ed. John Wiley and Sons Inc., 1964.
5. Deatherage, G. *Construction company organization and management.* New York, McGraw-Hill Book Company, 1963.
6. Desbazeille, G. *Problèmes et exercices de recherche opérationelle.* Paris, Ed. Dunod, 1964.
7. Kaufmann, A. *Invitation à la Recherche Opérationnelle.* Paris, Ed. Dunod, 1962.
8. Kaufmann, A. *Metode și modele de cercetare operațională.* Vol. I și II (traducere din l. franceză), București, Editura științifică, 1967.
9. McCloskey, J. F., Trefethen, F. N. *Introduction à la Recherche Opèration-nelle* (traducere din l. engleză). Paris, Ed. Dunod, 1958.
10. McCloskey, I. F., Coppinger, J. M. *Recherche opérationnelle, cas prattiques et méthodes* (traducere din l. engleză). Paris, Ed. Dunod, 1959.
11. Miller, D. W., Starr, M. K. *Fonction de direction et recherche opérationnelle* (traducere din l. engleză). Paris, Ed. Dunod, 1964.
12. Müller, Yves. *Initiation à l'organisation et à la recherche opérationnelle.* Paris, Ed. Eyrolles, 1964.

Studii

13. Pacaud, P. *La recherche opérationnelle en tant que méthode scientifique.* Raport francez la reuniunea CIB. Praga, 1965.
14. Rivett, P., Ackoff. *Guide prattique de Recherche opérationnelle à l'usage des diréctions.* Paris, Entreprise moderne d'editions, 1964.
15. * * * *Calcul economic.* Sub redacția prof. univ. Manea Mănescu. București, Editura Academiei R.P.R., 1964

METODA ȘTIINȚIFICĂ

(Introducere)

16. Leclercq, R. *Traité de la méthode scientifique.* Paris, Ed. Dunod, 1964.
17. * * * *Materialismul dialectic și științele contemporane ale naturii.* Vol. IV și Vol. X. București, Editura științifică, 1965.

INFORMAŢIA

(Cap. I)

18. Bindslev, B. *Co-ordinated building communication* CBC. În: Architect's Journal (serie de articole), 1964, 1965, 1966.
19. Duval, C. *L'organisation de l'entreprise et l'imprimé*. Paris, Ed. Dunod, 1964.

CIRCULAŢIA INFORMAŢIEI. ORGANISMUL ECONOMIC

(Cap. II)

20. Nicolau, Ed., Bălăceanu, C. *Cibernetica*. Bucureşti, Editura ştiinţifică, 1961.
22. Wiener, N. *Cibernetica* (traducere din l. engleză). Bucureşti, Editura ştiinţifică, 1966.
Vezi şi [1], [3], [12].

PRELUCRAREA INFORMAŢIEI. PREZENTAREA REZULTATELOR

(Cap. III)

23. Dumas, R. *L'entreprise et la statistique*. Vol. I, II. Paris, Ed. Dunod, 1966.
24. Pèpe, P. *Présentation des statistiques*. Paris, Ed. Dunod, 1959.
25. Rancu, N., Tövissi, L. *Statistica matematică cu aplicaţii în producţie*.
Vezi şi [12].

ORDONANŢARE

(Cap. V — XII)

Cărţi

26. Allan, T., Breu, M. *Handbuch der Netzplantechnik*. Winterthur, Ed. Sulzer, 1965
27. Anastasiu, Em. Em. *Metoda drumului critic în construcţii*. Bucureşti, Ministerul Industriei Construcţiilor, 1966.
28. Battersby, A. *Network analysis for Planning and Scheduling*. London, Ed. MacMillan & Co LTD, 1965.
29. Burke, E. J. Jr. *A technique of resource allocation for use with the critical path method*. Cambridge, Massachusetts Institute of technology, 1965.
30. Fondahl, I. W. *A non-computer approach to the critical path method for the construction industry*. Stanford, Stanford University, 1962.
31. Kaufmann, A., Desbazeille, G. *La méthode du chemin critique*. Paris, Ed. Dunod, 1964.
32. Lockyer, K. G. *An introduction to Critical Path Analysis*. London, Ed. Pitman, 1964.
33. Miller, Ro. *Schedule, cost and profit control with PERT*. NewYork-Toronto-London, Ed. McGraw-Hill Book Company, 1963.
34. Moder, J., Phillips, C. *Project management with CPM and PERT*. New York, Ed. Reinhold Publishing Corporation, 1964.
35. O'Brien, J. *CPM in construction management. Scheduling by the Critical Path Method*. New York, Ed. McGraw-Hill Book Company, 1965.
36. Ramboz, A. *L'ordonnancement*. Paris, Editions de l,entreprise moderne, 1963.
37. Roy, B. şi alţii. *Les problémes d'ordonnancement*. Paris, Ed. Dunod, 1964.

Scanned with OKEN Scanner

38. Stires, D., Wenig, R. *PERT/COST*. Boston, Industrial Education Institute, 1964
39. Woodgate, H. S. *Planning by network*. London, Business Publications Limited, 1964.
40. * * * *Metoda drumului critic*. Bucureşti, Sfatul Popular al oraşului Bucureşti, 1965.
41. * * * *PERT, Summary report phase 2*. Washington, Special Projects Office Bureau of Naval Weapous, Department of the Navy, 1958.
42. * * * *PERT Guide for management use*. Washington, PERT coordinating group, 1963.

Articole şi studii

43. Anastasiu, D., Georgescu, I. *Metode de planificare bazate pe grafe*. În: Studii de statistică IV., Ed. DCS. Bucureşti, 1966.
44. Boss, J. F. *Prise en consideration des contraintes pesant sur la disponibilité des moyens dans les méthodes de chemin critique*. În: Revue Française de Recherche Opérationnelle, nr. 38, 1966.
45. Liret, M. *L'organisation et le planning des travaux*. În: Technique et Architecture nr. 6, 1966.
46. Pacaud, P. *Chemin critique et coordination*. În: Bâtir, nr. 123, 1964.
47. Pascoe, T. L. *Allocation of Resources in CPM*. În: Revue Française de Recherche Opérationnelle, nr. 38, 1966.
48. Riff, S. *Ordonnancement des opérations de bétonnage d'un barrage-voûte*. În: Revue Française de Recherche Opérationnelle, nr. 38, 1966.
49. Ventura, E. *L'introduction de l'aléatoire dans les réseaux PERT*. În: Revue Française de Recherche Opérationnelle, nr. 38, 1966.
50. * * * *Metodologie pentru folosirea graficelor reţea la planificarea şi urmărirea executării lucrărilor de construcţii*. Bucureşti, INCERC, 1965.
51. * * * *Instrucţiuni provizorii pentru elaborarea graficelor reţea şi folosirea lor la conducerea investiţiilor*. Moscova, Comitetul de Stat pentru construcţii al U.R.S.S., 1964.

PROGRAMARE LINIARĂ

(Cap. XIV şi XV)

52. Altar, M., Miasnicov, I., Rădulescu, M., Rădulescu, D. *Aplicaţii ale metodelor matematice în probleme de repartiţie*. Bucureşti, Editura ştiinţifică, 1964.
53. Altar, M., Nădejde, I. *Aplicaţii ale programării liniare în producţie*. Bucureşti Editura ştiinţifică, 1965.
54. Dorfman, R., Samuelson, P. A., Solow, R. M. *Programation linéaire et gestion économique*. Paris, Ed. Dunod, 1962.
55. Ionescu, H., Mirescu, P., Nădejde, I. *Programarea liniară*. Bucureşti, Editura ştiinţifică, 1964.
56. Kantorovici, L. V. *Calculul economic al folosirii optime a resurselor*. Bucureşti, Editura ştiinţifică, 1966.
57. Mihoc, Gh., Ionescu, H. *Bazele matematice ale programării liniare*. Bucureşti, Editura ştiinţifică, 1965.
58. Mihoc, Gh., Nădejde, I. *Programarea matematică*. Bucureşti, Editura ştiinţifică, 1966.
59. Simonard, M. *Programmation linéaire*. Paris, Ed. Dunod, 1962.

Vezi şi [1], [3], [6], [8], [9], [10], [12].

Scanned with OKEN Scanner

FENOMENE DE AȘTEPTARE

(Cap. XVI)

60. Anastasiu, D. *Cu privire la optimizarea numărului de autobasculante ce se afectează excavatoarelor.* În: Studii și Cercetări Economice, IV, 1965.
61. Kaufmann, A. *Les phénomenes d'attente.* Paris, Ed. Dunod., 1964.
62. Mihoc, Gh., Ciucu, V. *Introducere în teoria așteptării.* București, Editura tehnică, 1967.
Vezi și [1], [3], [6], [8], [9], [10], [12].

STOCURI

(Cap. XVII)

63. Holt, C. C., Modigliani, F. M., Muth, I. M., Simon, H. A. *Planification de la production des stocks de l'emploi.* Paris, Ed. Dunod, 1964.
64. Magee, I. F. *Le planning de la production et le contrôle des stocks.* Paris, Ed.Dunod, 1962.
65. Starr, M. K., Miller, D. M. *Le gestion des stocks.* Paris, Ed. Dunod, 1965.
Vezi și [1], [3], [6], [8], [9], [10], [12].

UZURA, ÎNTREȚINEREA ȘI ÎNLOCUIREA UTILAJELOR

(Cap. XVIII)

66. Cox, D. R. *Théorie du renouvellement.* Paris, Ed. Dunod, 1966.
Vezi și [8].

DECIZII ȘI JOCURI

(Cap. XIX)

Vezi [1], [3], [6], [8], [11].

CALCULATOARE ELECTRONICE

(Cap. XX—XXII)

67. Davis, Gordon B. *An introduction to electronic computers.* New York, McGraw-Hill Book Company, 1965.
68. Kagan, B. M., Ter Mikaelian, T. M. *Rezolvarea problemelor inginerești cu calculatoare numerice.* București, Editura tehnică, 1965.
69. Magnan, Pierre. *Le système téléordinateur du Groupe Drouot.* În: Automatisme, vol. XI, nr. 10. Paris, Dunod, 1966.
70. * * * *Apercu sur les principes de la télégestion.* În: Automatisme, Vol. XI, nr. 10, Paris, Dunod, 1966.

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

SUBGRAF 11 (TIP B) – STRUCTURĂ SUBSOL TRONSON 1

Fig. VII. 15

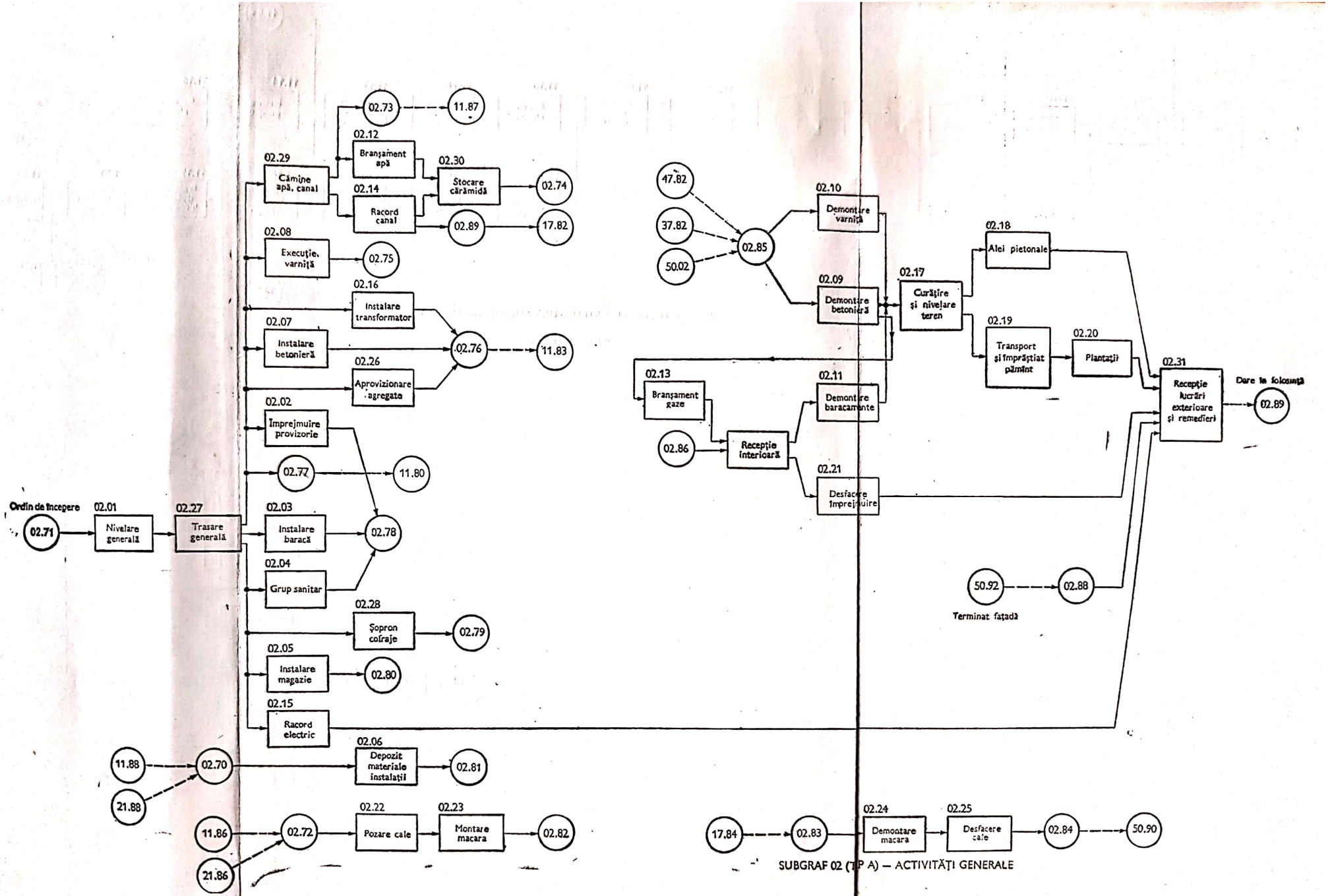
SUBGRAF 12 (TIP C) – STRUCTURĂ PARTER TRONSON 1

Fig. VII. 16

SUBGRAF 31 (TIP D) FINISAJ SUBSOL

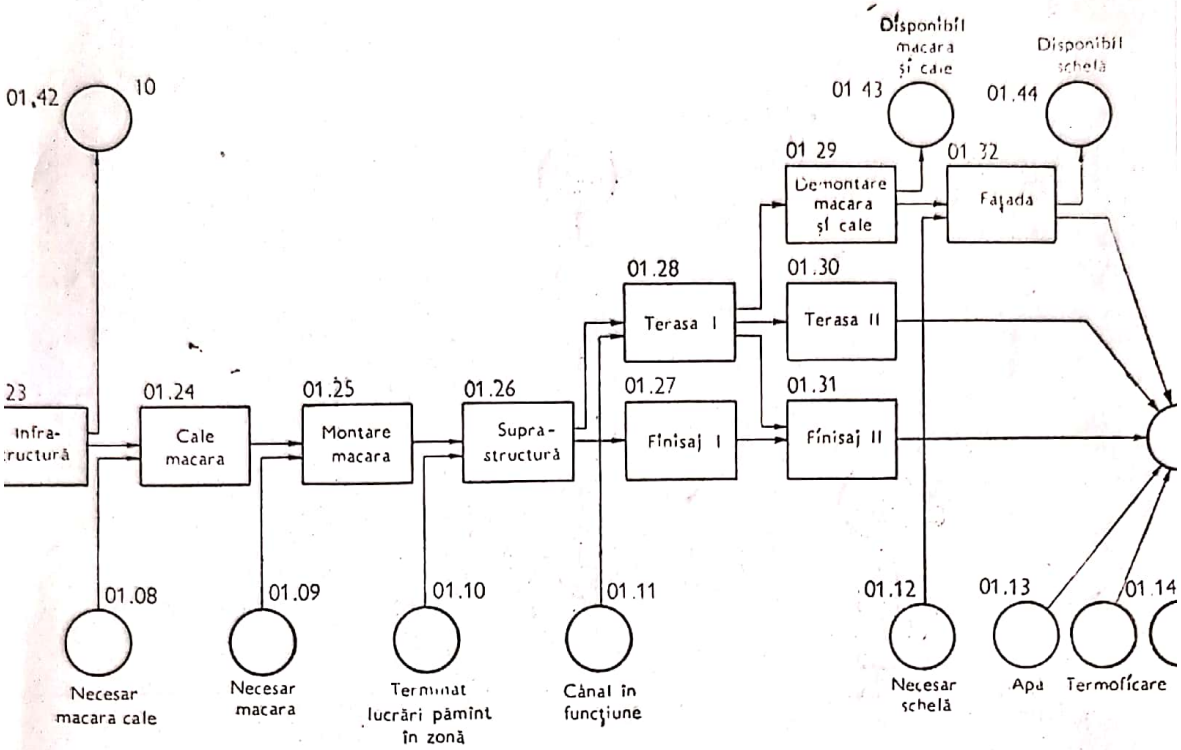
Fig. VII. 17

Scanned with OKEN Scanner



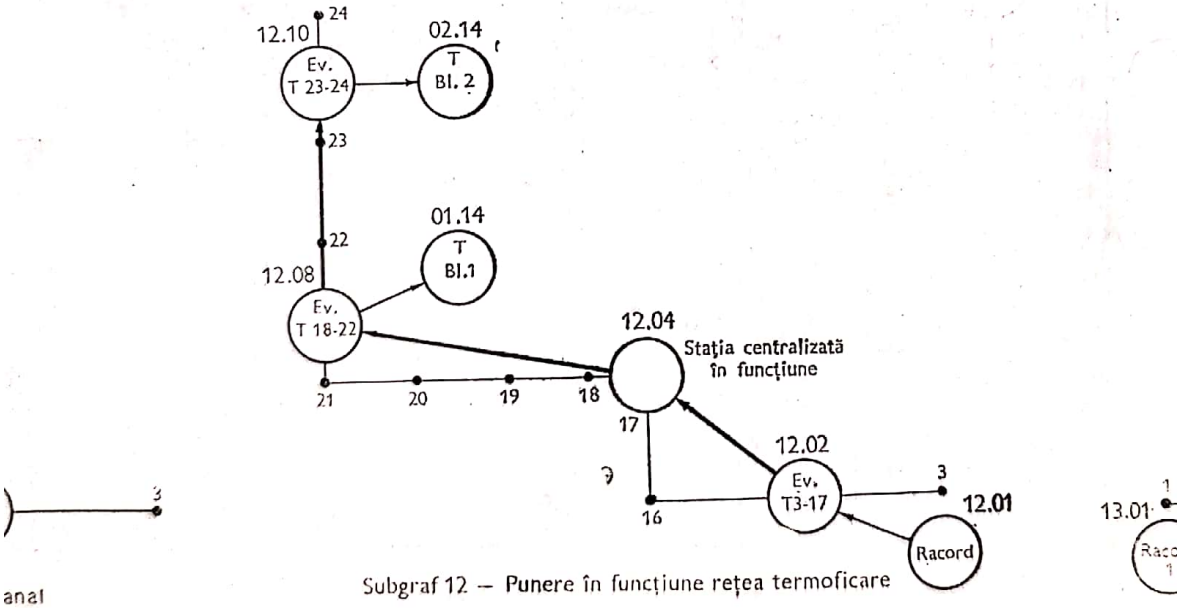
SUBGRAF 02 (TIP A) — ACTIVITĂȚI GENERALE

Fig. VII. 14



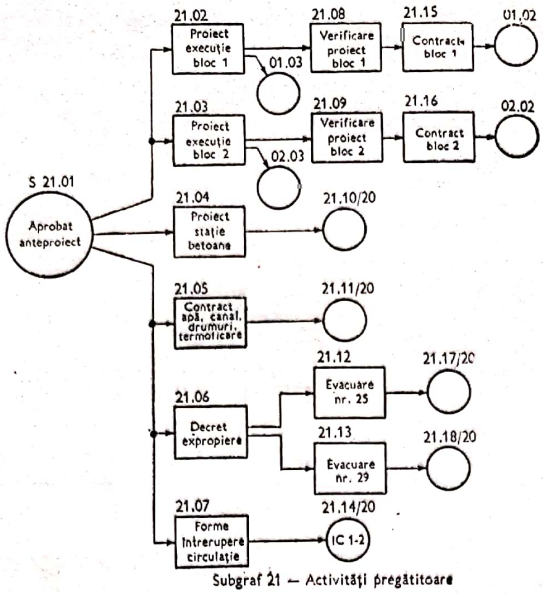
Subgraf 01 — Blocul nr. 1

Fig. VII. 24



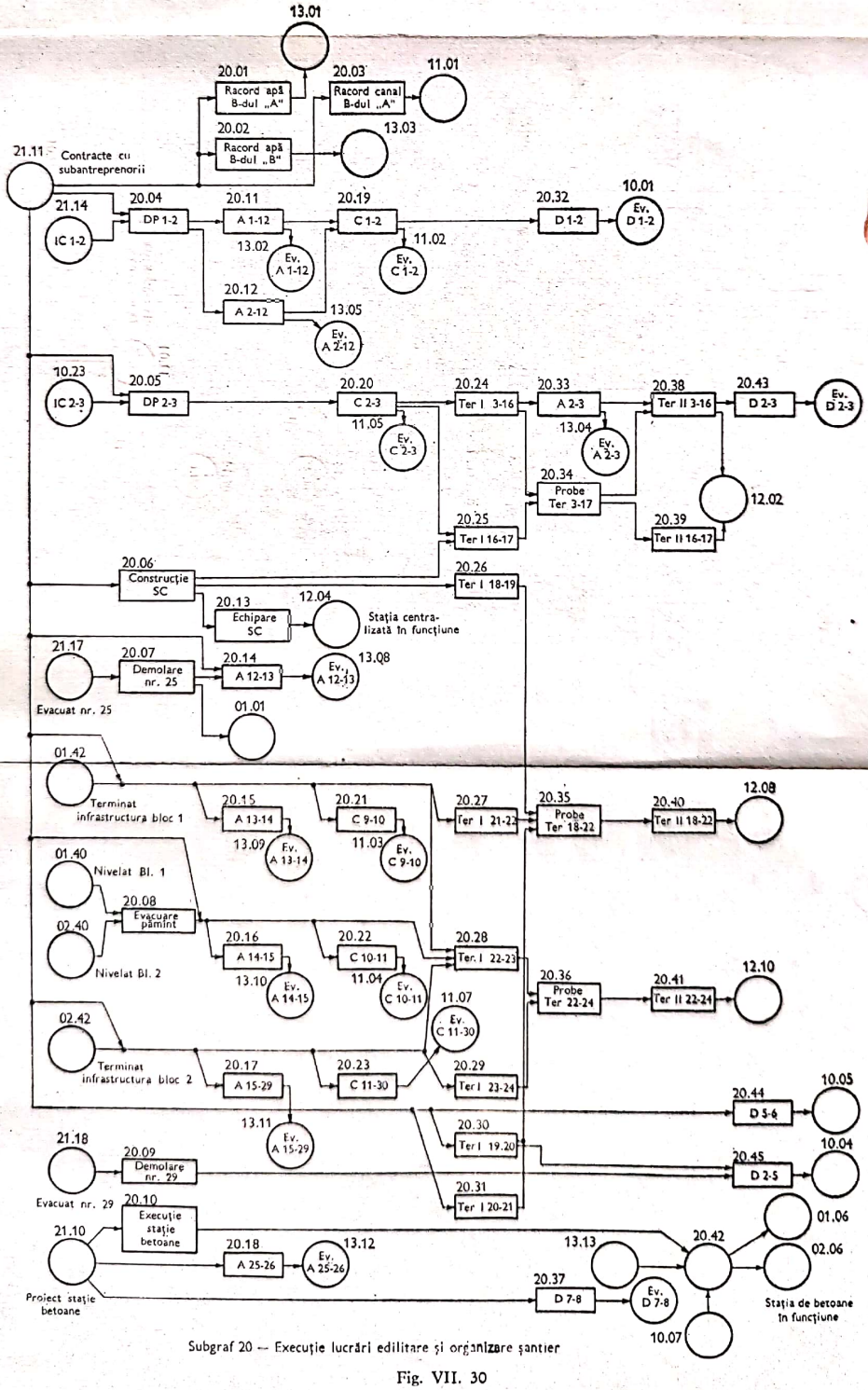
Subgraf 12 — Punere în funcțiune rețea termoficare

Fig. VII. 27



Subgraf 21 — Activități pregătitoare

Fig. VII. 29



Subgraf 20 — Execuție lucrări edilitare și organizare șantier

Fig. VII. 30

Scanned with OKEN Scanner

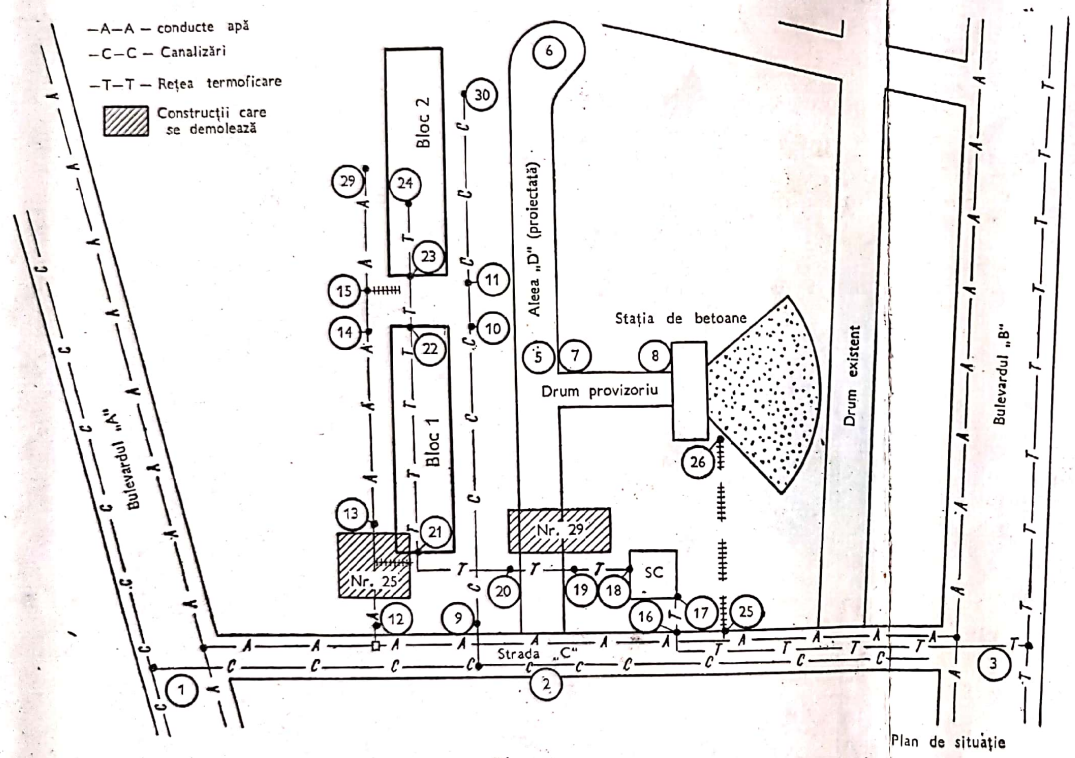


Fig. VII. 22

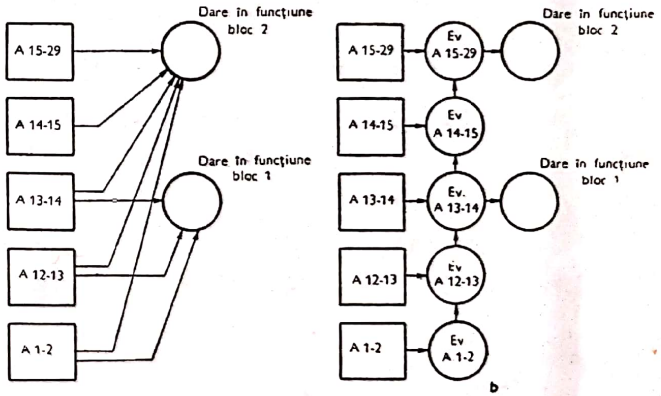


Fig. VII. 23

Scanned with OKEN Scanner